



Departman za mehanizaciju
i konstrukciono mašinstvo

Katedra za motore i vozila

TEORIJA KRETANJA DRUMSKIH VOZILA

UPUTSTVO ZA IZRADU VUČNOG PRORAČUNA

Mr Boris Stojić, dipl. inž. maš.

Novi Sad, 2009.

PROPOZICIJE

Izrada vučnog proračuna kao seminarskog rada predstavlja predispitnu obavezu iz predmeta *Teorija kretanja drumskih vozila*, za studente VI semestra Departmana za mehanizaciju i konstrukciono mašinstvo.

Predajom seminarskog rada student može ostvariti do 20 poena.

Vučni proračun treba uraditi na računaru, upotrebom programa MS Excel®. Izrada vučnog proračuna uz pomoć drugog softvera ili bez upotrebe računara dozvoljena je uz prethodni dogovor sa predmetnim asistentom.

Način predaje i odbrane rada, kao i predviđeni termini i rokovi, preciziraju se tokom semestra.

Sva pitanja vezana za izradu vučnog proračuna i nejasnoće vezane za dato uputstvo mogu se uputiti predmetnom asistentu u terminu za konsultacije, kao i na e-mail adresu bstojic@uns.ac.rs, odnosno preko telefona 021/485-2379. Sve primedbe i sugestije vezane za otklanjanje nedostataka ovog uputstva odnosno za njegovo poboljšanje su veoma dobrodošle.

Napomena: pri izradi proračuna voditi računa o tome da sve veličine, kako ulazne tako i one koje se izračunavaju, budu jasno i adekvatno označene. Dijagrami moraju da imaju naslove i legende, a ose moraju imati oznaku veličine i fizičke dimenzije.

SADRŽAJ

1	ULAZNI PODACI	1
1.1	Parametri vozila	1
1.2	Parametri transmisije.....	5
1.3	Parametri pogonskog motora	8
2	OTPORI KRETANJA	11
2.1	Otpor kotrljanja	11
2.2	Otpor vazduha	12
2.3	Otpor uspona	12
2.4	Ukupni otpori	13
3	VUĆNO-BRZINSKA KARAKTERISTIKA	16
4	UBRZANJE	21
4.1	Vreme i put zaleta	23
5	OSNOVE RADA SA PROGRAMOM MS EXCEL®	30

1 ULAZNI PODACI

Na početku je potrebno uneti podatke koji se koriste za izračunavanja u okviru vučnog proračuna. Osim numeričkih vrednosti potrebnih za proračun mogu se uneti i podaci koji bliže opisuju vozilo, pre svega marka i tip, vrsta i radna zapremina pogonskog motora, i sl. Ulagani podaci se mogu podeliti na tri osnovne grupe:

- parametri vozila (dimenzije, težina, aerodinamički parametri, pneumatici)
- parametri transmisije (prenosni odnosi, stepen korisnosti)
- parametri pogonskog motora (brzinska karakteristika u formi niza numeričkih vrednosti)

1.1 **Parametri vozila**

TEŽINA VOZILA

Masa vozila u eksploataciji može imati bilo koju vrednost između mase praznog vozila (sa dodatkom mase vozača – $m_{voz} \approx 75$ kg) i najveće dozvoljene mase. Postoje različiti standardi i preporuke o tome koja je vrednost mase merodavna pri proračunu vučno – dinamičkih karakteristika vozila. U okviru izrade ovog zadatka, za sprovođenje vučnog proračuna može se izvršiti slobodan izbor mase m tj. usvajanje bilo koje vrednosti iz pomenutog intervala. Težina vozila G u [N] se tada izračunava na osnovu mase, $G = m \cdot g$ (dozvoljeno je zaokruživanje na $g \approx 10 \text{ m/s}^2$).

Osovinske reakcije i položaj težišta

Položaj težišta u uzdužnoj ravni vozila (tj. normalna rastojanja napadne linije gravitacione sile u odnosu na prednju i zadnju osovinu, l_p i l_z – slika 1), određuje odnos u kom se težina vozila G , kada vozilo miruje na horizontalnoj podlozi, raspoređuje na prednju i zadnju osovinu, uzrokujući vertikalne osovinske reakcije G_p i G_z . S obzirom na statički uslov ravnoteže $G_p + G_z = G$, veličine osovinskih reakcija napred i nazad mogu se zadati i kao procentualni ideo težine G koji se prenosi na odgovarajuću osovinu, na primer:

$$\begin{aligned} &\text{Raspodela težine napred/nazad: } 52.4\% / 47.6\% \\ &\Rightarrow G_p = 0,524 \cdot G; G_z = 0,476 \cdot G \end{aligned}$$

Ukoliko je potrebno odrediti parametre položaja težišta, oni se analogno računaju kao¹:
 $l_p = 0,476 \cdot l$; $l_z = 0,524 \cdot l$

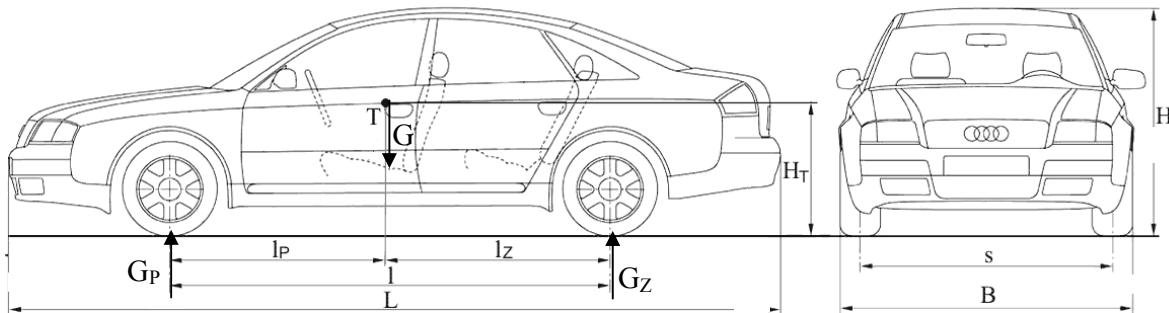
Visina težišta

Ukoliko podatak o visini težišta nije zadat, njegova vrednost se usvaja prema sledećoj preporuci koja važi za putnička vozila:

¹ Date relacije dobijaju se iz statičkih uslova ravnoteže, pri čemu se vozilo koje miruje na horizontalnoj podlozi posmatra kao prosta greda opterećena sistemom vertikalnih sila

$$h_T = 0,50 - 0,65 \text{ m}$$

NAPOMENA: navođenje odnosno izračunavanje statičkih osovinskih reakcija i parametara položaja težišta nije obavezno, s obzirom na to da se ovi podaci u okviru elemenata vučnog proračuna obrađivanih u ovom zadatku ne koriste. Oni se mogu eventualno navesti u okviru pomeute grupe podataka koji se navode isključivo u funkciji bližeg opisivanja vozila.

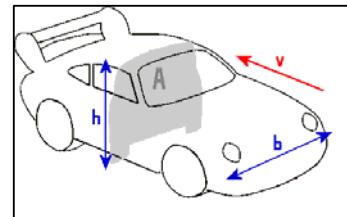


Slika 1. Dimenzije, položaj težišta, težina i osovinske reakcije vozila

G – težina vozila, G_P – vertikalna reakcija prednje osovine, G_Z – vertikalna reakcija zadnje osovine, T – težište, h_T – visina težišta, l_P – krak G_P u odnosu na težište, l_Z – krak G_Z u odnosu na težište

ČEONA POVRŠINA

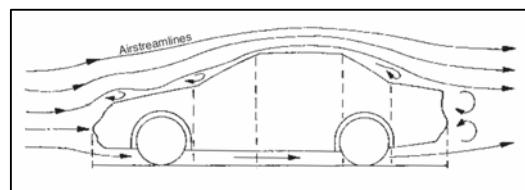
Čeona površina A (eng. *Frontal area*) predstavlja projekciju siluete vozila na ravan normalnu na uzdužnu osu vozila tj. na pravac kretanja. Njena veličina se izražava u m^2 . Ovaj parametar se koristi kod izračunavanja sile otpora vazduha. Ukoliko podatak nije eksplicitno zadat, čeona površina se može orijentaciono izračunati kao $A \approx 0,8 \cdot b \cdot h$ (vidi skicu).



PRIMER: $A = 2,31 \text{ m}^2$

KOEFICIJENT OTPORA VAZDUHA

Koeficijent otpora vazduha C_w (bezdimenziona veličina, eng. *Drag coefficient* C_d) određuje se eksperimentalno i izražava uticaj oblika vozila na njegove aerodinamičke karakteristike. Ovim parametrom se iskazuje karakter opstrujavanja vozila strujnicama vazduha što direktno utiče na силу otpora vazduha.



PRIMER: $C_w = 0,33$

DINAMIČKI RADIJUS PNEUMATIKA

Usled elastičnosti pneumatika, pri kotrljanju dolazi do izmene njegove deformacije tj defleksije, a time i do izmene poluprečnika, u odnosu na statičku vrednost. Vrednost poluprečnika pri kotrljanju naziva se **dinamički radijus** pneumatika, r_D . Ova veličina se određuje ispitivanjem pneumatika i zbog toga se ne izračunava, već se mora usvojiti iz kataloga pneumatika, pri čemu se kao ulazni podatak koristi oznaka pneumatika. Pri zadavanju vrednosti dinamičkog radijusa kao ulaznog podatka važno je voditi računa o tome da ista bude izražena u metrima. S obzirom na uobičajene dimenzije putničkih vozila i njihovih pneumatika, dinamički radijus po pravilu ima vrednost $\approx 0,3\text{m}$.

Ukoliko u raspoloživom katalogu pneumatika dinamički radijus nije zadat eksplisitno već kao obim kotrljanja O (što je zapravo put pređen po jednom obrtaju točka), tada se r_D može direktno izračunati:

$$r_D = \frac{O}{2\pi}$$

U pojedinim katalozima pneumatika umesto eksplisitnog zadavanja dinamičkog radijusa ili obima kotrljanja dat je podatak o broju obrtaja po jedinici pređenog puta, npr. REVS PER MILE (u prevodu: broj obrtaja po jednoj pređenoj milji – slika 2). Kako je dužina jedne milje 1602 metra, iz ovog podatka se obim kotrljanja O u [m] izračunava kao:

$$O = \frac{1602}{\text{REVS_PER_MILE}}$$

PRIMER: odrediti dinamički radijus za pneumatik dimenzija 235/70R15.

Iz kataloga na sl.2: REVSPER_MILE = 745 (točak za jednu milju pređenog puta načini 745 obrtaja)

$$O = \frac{1602}{\text{REVS_PER_MILE}} = \frac{1602}{745} = 2,15 \text{ m}$$

$$r_D = \frac{O}{2\pi} = \frac{2,15}{2\pi} = 0,34 \text{ m}$$

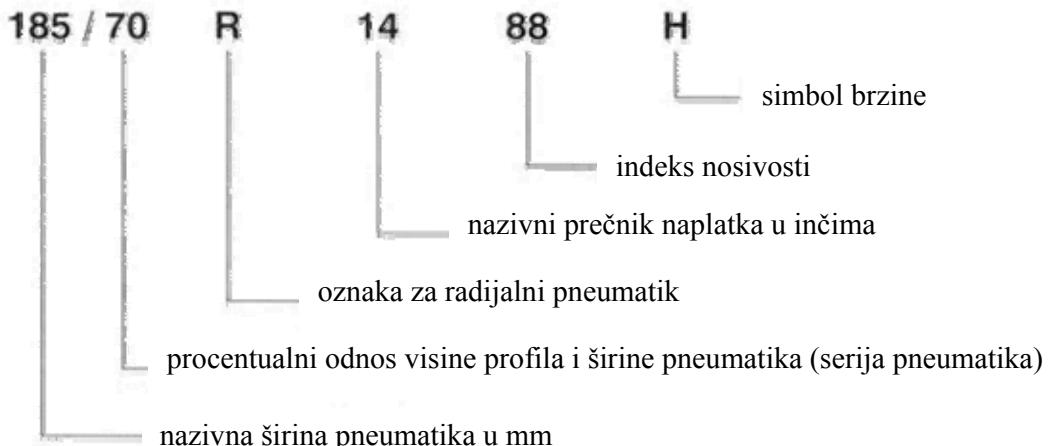
RIM DIAMETER	SERIES	SIZE	LOAD / SPEED INDEX	LOAD RANGE	SIDEWALL	ARTICLE NUMBER	TIRE DIAMETER (in)	TIRE WEIGHT (kg)	MAX. INFLATION PRESS (LBS)	OVERALL SECTION WIDTH (MEASURING RIM)	APPROVED RIM WIDTH	MAX LOAD (KG)	MAX LOAD (LBS)	MAX DUAL LOAD (LBS)	TREAD DEPTH (in - 32)	REVSPER MILE	
15	70	225/70R15 235/70R15 255/70R15 265/70R15 265/70R15 265/70R15 215/70R15	100T 103T 108T 112T 112S 112H 100T	SL SL SL SL SL SL SI	OWL OWL OWL BSW OWL BSW PSW	15475500000 15475520000 15486910000 15448960000 15449250000 15475540000 15492010000	27.4 28.0 29.1 29.6 29.6 29.6 27.7	13.8 15.3 15.7 18.3 16.9 17.3 12.2	30.4 33.7 34.6 40.3 37.2 38.2 27.1	44 44 51 51 44 51 44	9.0 (6.5) 9.4 (7.0) 10.2 (7.5) 10.7 (8.0) 10.7 (8.0) 10.7 (8.0) 9.5 (6.0)	6.0 - 7.5 6.5 - 8.5 6.0 - 8.5 7.0 - 9.0 7.0 - 9.0 7.0 - 9.0 6.5 - 7.0	800 875 1000 1120 1120 1120 900	1764 1929 2205 2469 2469 2469 1764	N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A	12/32 12/32 12/32 12/32 12/32 12/32 12/32	761 745 716 704 704 704 702

Slika 2.Izvod iz kataloga pneumatika Continental Conti Cross Contact ®

Postupak određivanja dinamičkog radijusa iz kataloga svodi se na pronalaženje odgovarajuće oznake pneumatika u katalogu, i potom očitavanje odgovarajuće vrednosti dinamičkog radijusa (koja, kao što je rečeno, može biti zadata direktno ili posredno – npr. preko obima kotrljanja ili

broja obrtaja po jedinici pređenog puta). Na slici 3 na jednom primeru prikazano je tumačenje oznake pneumatika na primeru jednog pneumatika sa oznakom:

185/70 R14 88 H



Slika 3.Značenje oznake pneumatika

PRILOG: KATALOG PNEUMATIKA

Oznaka (Dimenzije)	Indeks nosivosti i simbol brzine	Dinamički radijus (m)	Dozvoljeno osovinsko opterećenje (N)
185/60R14	82H	0,281	9318
185/65R14	85T	0,289	10003
185/65R14	86H	0,289	10395
185/70R14	87T	0,299	10688
195/60R14	86H	0,285	10395
195/65R14	88H	0,295	10991
195/70R14	90T	0,305	11676
195/70R14	90H	0,305	11676
205/60R14	88H	0,292	10991
185/60R15	84T	0,292	9807
185/65R15	88T	0,302	10991
185/65R15	86H	0,302	10395
195/55R15	84V	0,288	9807
195/60R15	87T	0,298	10591
195/60R15	88H	0,298	10991
195/65R15	89T	0,308	11383
195/65R15	91H	0,308	12068
205/55R15	88V	0,294	10991
205/60R15	90T	0,304	11578
205/60R15	91H	0,304	12068
205/65R15	92T	0,314	12459
205/65R15	94V	0,314	13145
205/65R15	94H	0,314	13145
205/70R15	95T	0,324	13341
215/60R15	93T	0,310	12557

Oznaka (Dimenzije)	Indeks nosivosti i simbol brzine	Dinamički radijus (m)	Dozvoljeno osovinsko opterećenje (N)
215/60R16	94H	0,321	13145
215/60R16	94V	0,321	13145
215/65R16	98T	0,333	14711
225/50R16	92V	0,307	12362
225/55R16	95V	0,318	13536
225/55R16	95H	0,318	13536
225/60R16	97T	0,327	14320
225/60R16	98V	0,327	14711
225/60R16	97H	0,327	14320
235/55R16	96T	0,321	13928
235/60R16	99H	0,333	15209
215/50R17	91V	0,314	12068
215/55R17	94V	0,324	13145
225/50R17	94V	0,319	13145
225/55R17	95T	0,330	13536
225/55R17	97H	0,330	14320
235/45R17	93H	0,313	12753
245/45R17	95H	0,317	13536
225/60R18	100H	0,352	15699
245/45R18	96V	0,328	13928
205/40ZR16	83W	0,276	9558
205/45ZR16	87W	0,285	10697
205/50ZR16	87W	0,296	10697
205/55ZR16	89Y	0,306	11383
215/40ZR16	86W	0,284	10395

215/60R15	94H	0,310	13145		225/55ZR16	95Y	0,317	13536
215/65R15	95T	0,320	13438		205/40ZR17	84Y	0,289	9807
225/60R15	96H	0,315	13928		205/45ZR17	88Y	0,298	10991
205/50R16	87V	0,297	10688		205/50R17	93Y	0,313	12753
205/55R16	89T	0,307	11383		215/40ZR17	87Y	0,292	10697
205/55R16	90H	0,307	11774		215/45R17	91Y	0,303	12068
205/55R16	90V	0,307	11774		215/50ZR17	91Y	0,314	12068
205/60R16	92H	0,316	12362		225/45ZR17	90Y	0,308	11774
205/60R16	91T	0,317	12068		235/40ZR17	94Y	0,301	13145
205/60R16	92V	0,316	12362		235/45ZR17	93Y	0,312	12753
205/65R16	94T	0,326	13145		245/40ZR17	91Y	0,304	12068
215/50R16	89V	0,302	11383		245/45ZR17	95Y	0,316	13536
215/55R16	93H	0,312	12753		255/40ZR17	94Y	0,310	13145
215/55R16	93V	0,311	12753		275/40ZR17	98Y	0,316	14711
215/60R16	94T	0,321	13145		285/40ZR17	100Y	0,320	15690

PRIMER ZA UNOS PARAMETARA VOZILA

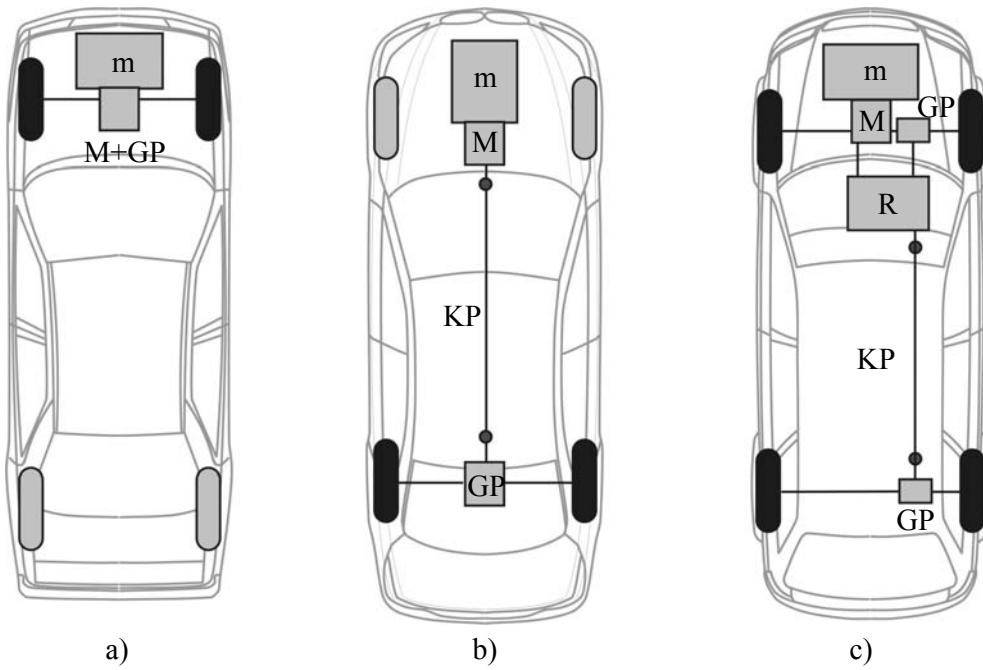
Marka i tip vozila:			
Suzuki Grand Vitara 2.0i			
Parametri vozila			
Veličina	Oznaka	Vrednost	Fiz. dimenzija
Proračunska težina	G =	17500	N
Procenat težine:			
napred		49.6	(%)
nazad		50.4	(%)
Osovinska opter.			
napred	G _P =	8680	N
nazad	G _Z =	8820	N
Koef. otp. vazduha	c _W =	0.41	(-)
Čeona površina	A =	2.5	m ²
Dinamički radijus	r _D =	0.35	m
Pneumatik: 225/65 R 17			

1.2 Parametri transmisije

Transmisija je sistem za prenos snage pogonskog motora do pogonskih točkova uz transformaciju njenih parametara (obrtnog momenta M i broja obrtaja n). Osnovni elementi transmisije putničkih vozila su:

- Spojnica – prenosi snagu pogonskog motora na transmisiju
- Menjački prenosnik – vrši transformaciju broja obrtaja i momenta motora radi prilagođavanja vučnih karakteristika vozila trenutnim uslovima eksploatacije
- Kardanski prenosnik (kardansko vratilo sa kardanskim zglobovima) – vrši prenos obrtnog momenta između udaljenih ili međusobno relativno pokretnih komponenata transmisije
- Razvodnik snage (samo kod vozila sa pogonom na sva četiri točka) – razvodi snagu pogonskog motora na prednju i zadnju osovinu
- Glavni prenosnik – vrši završnu transformaciju broja obrtaja i momenta; razvodi snagu na pogonske točkove jedne osovine

Na slici 4 prikazana su tri najčešće primenjivana koncepta transmisije putničkih vozila.



Slika 4. Osnovne koncepcije transmisije putničkih vozila

m – motor, M – menjač, GP – glavni prenosnik, KP – kardanski prenosnik, R – razvodnik snage

- a) motor napred, pogon na prednjim točkovima
- b) motor napred, pogon na zadnjim točkovima
- c) motor napred, pogon na sva četiri točka

PRENOSNI ODNOSSI TRANSMISIJE

Zadatak transmisije je prenos snage i transformacija njenih parametara – momenta i broja obrtaja. Transformacija je određena prenosnim odnosom (i). Uobičajena koncepcija putničkih vozila podrazumeva transmisiju sa dve pozicije na kojima se vrši transformacija parametara snage:

- menjački prenosnik, koji omogućava da se u skladu sa uslovima vožnje izabere jedan od većeg broja (kod putničkih vozila najčešće 5-7) raspoloživih stepeni prenosa – prenosni odnosi i_m (npr. za 5-brzinski menjač $m=1,2,\dots,5$)
- glavni prenosnik – vrši završnu transformaciju na pogonskoj osovini, sa konstantnim prenosnim odnosom i_{GP} .

Ukupan prenosni odnos transmisije određuje se kao proizvod prenosnih odnosa njenih pojedinih komponenata:

$$i_{TR} = i_m \cdot i_{GP}; \quad m = 1, 2, 3, \dots$$

PRIMER:

MENJAČKI PRENOSNIK

Broj stepeni prenosa: 5

I stepen prenosa:	$i_m = i_I = 3,473$
II stepen prenosa:	$i_m = i_{II} = 2,617$
III stepen prenosa:	$i_m = i_{III} = 1,567$
IV stepen prenosa:	$i_m = i_{IV} = 1,007$
V stepen prenosa:	$i_m = i_V = 0,865$

GLAVNI PRENOSNIK

$$i_{GP} = 3,765$$

GUBICI U TRANSMISIJI

Prilikom prenosa snage neminovno dolazi do gubitaka. Gubici u transmisiji nastaju usled otpora kulonovog i viskoznog trenja pri relativnom kretanju pojedinih elemenata (ležajevi, zupčanici, zglobovi, zaptivači, mazivo...). Stepen korisnosti transmisije računa se kao proizvod stepena korisnosti svih njenih komponenata u kojima nastaju gubici:

$$\eta_{TR} = \prod \eta_i$$

Za pojedine slučajeve prikazane na slici 4 gubici se računaju kao:

slučaj a) $\eta_{TR} = \eta_M \cdot \eta_{GP}$

slučaj b) $\eta_{TR} = \eta_M \cdot \eta_{GP} \cdot \eta_{KP}$

slučaj c) $\eta_{TR} = \eta_M \cdot \eta_{GP}^2 \cdot \eta_{KP} \cdot \eta_R$

Napomena: koncept *motor nazad – pogon nazad* odgovara slučaju a).

Orijentacione tipične vrednosti stepena korisnosti pojedinih komponenata transmisije:

- menjač: $\eta_m = 0,94 \div 0,98$
- kardanski prenosnik: .. $\eta_{KP} = 0,98 \div 1$
- glavni prenosnik: $\eta_{GP} = 0,94 \div 0,98$
- razvodnik snage: $\eta_R = 0,96 \div 0,98$

Orijentaciono se za ukupni stepen korisnosti transmisije može usvojiti:

- za pogon na prednjim točkovima: $\eta_{TR} \approx 0,95$
- za pogon na zadnjim točkovima: $\eta_{TR} \approx 0,90$
- za pogon na sva četiri točka: $\eta_{TR} \approx 0,85$

PRIMER ZA UNOS PARAMETARA TRANSMISIJE

Parametri transmisijske sklopne jedinice	
Prenosni odnos glavnog prenosnika:	
$i_{GP} =$	4.1
Prenosni odnosi menjača:	
$i_I =$	4.55
$i_{II} =$	2.36
$i_{III} =$	1.7
$i_{IV} =$	1.24
$i_V =$	1
Stepen korisnosti transmisijske sklopne jedinice:	
$\eta_{TR} =$	0.87

1.3 Parametri pogonskog motora

Brzinska karakteristika pogonskog motora (zavisnost obrtnog momenta M i snage P od broja obrtaja n) data je u formi dijagrama². Potrebno je izvršiti očitavanje određenog broja vrednosti M odnosno P sa dijagrama, kako bi se dobio niz numeričkih vrednosti potrebnih za dalja izračunavanja. Broj i raspored tačaka na dijagramu za koje će biti izvršeno očitavanje potrebno je izabrati tako da dobijeni niz diskretnih vrednosti u što većoj meri kvalitativno reprezentuje tok krivih $M(n)$ i $P(n)$.

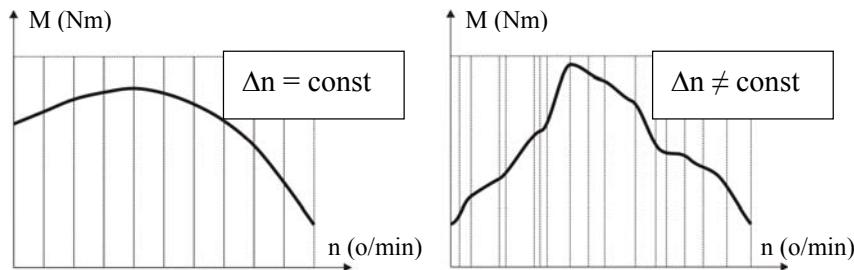
POSTUPAK OČITAVANJA BRZINSKE KARAKTERISTIKE MOTORA

Očitavanje brzinske karakteristike predstavlja preslikavanje kontinualne krive u niz diskretnih tačaka. Prilikom očitavanja niza numeričkih vrednosti, izbor tačaka nije jednoznačno određen. Ukupan broj tačaka i njihov raspored treba da bude određen na osnovu principa da niz diskretnih tačaka što potpunije odslikava tok kontinualne krive obrtnog momenta³. Orientaciono je dovoljno približno 10 tačaka. Pri tome širine pojedinih intervala (odnosno Δn – razmaci između dve susedne diskretne vrednosti brojeva obrtaja) mogu, ali i ne moraju biti konstantne. U zonama u kojima kriva $M(n)$ ima uglavnom ravnomeran, približno pravolinjski tok, širina intervala može biti nešto veća. Na mestima intenzivnije promene $M(n)$ (maksimum, naglja promena toka i sl.) može biti od koristi

² Podaci sa dijagrama odnose se na spoljnu brzinsku karakteristiku, tj. na performanse motora pri maksimalnom opterećenju (“gas do daske”). Motor može, pri radu na parcijalnim karakteristikama (“smanjivanje gasa”) da proizvede bilo koju manju vrednost momenta tj. snage.

³ Niz diskretnih tačaka, prikazanih na dijagramu, treba što više da “liči” na polaznu kontinualnu krivu.

suziti širinu intervala kako bi tok krive na ovom mestu bio što bolje opisan nizom numeričkih vrednosti. Oba primera ilustrativno su prikazana na slici 5.



Slika 5. Dva načina za izbor niza vrednosti brzinske karakteristike motora SUS

U niz vrednosti, međutim, obavezno moraju biti uključene sledeće karakteristične tačke brzinske karakteristike motora:

n_{MIN}	minimalni broj obrtaja motora	→	M_{MAX}	maksimalni obrtni moment motora
$n_{M_{\text{MAX}}}$	broj obrtaja pri kom obrtni moment motora dostiže maksimalnu vrednost		P_{MAX}	maksimalna snaga motora
$n_{P_{\text{MAX}}}$	broj obrtaja pri kom snaga motora dostiže maksimalnu vrednost			
n_{MAX}	maksimalni broj obrtaja motora			

S obzirom na vezu između obrtnog momenta i snage, pri očitavanju treba očitati samo vrednosti obrtnog momenta, dok se vrednosti za snagu izračunavaju. Jedino za broj obrtaja maksimalne snage (čija je tačna vrednost zadata!), međutim, preporučuje se obrnut postupak, tj. izračunavanje obrtnog momenta za datu vrednost maksimalne snage⁴. Na kraju, pri crtanjtu dijagrama na osnovu niza diskretnih vrednosti, vrši se vizuelno poređenje dobijenog dijagrama sa originalnom karakteristikom motora i, prema potrebi, koriguju pojedine očitane vrednosti da bi se između originalne i očitane karakteristike postigao što veći stepen slaganja.

ZAVISNOST IZMEĐU SNAGE I MOMENTA

Na osnovu definicije snage u mehanici ($P=dA/dt$) lako se može pokazati da je snaga motora jednaka proizvodu obrtnog momenta koji motor savlađuje i ugaone brzine pri kojoj se savlađivanje tog obrtnog momenta vrši:

$$P = M \cdot \omega - P(W), M(\text{Nm}), \omega(\text{rad/s})$$

Ako se umesto ugaone brzine ω koristi broj obrtaja u minuti n , i ako se snaga umesto u (W) izrazi u (kW), gornji izraz postaje:

$$P = \frac{M \cdot n}{9554} \quad \text{odnosno: } M = 9554 \cdot \frac{P}{n}$$

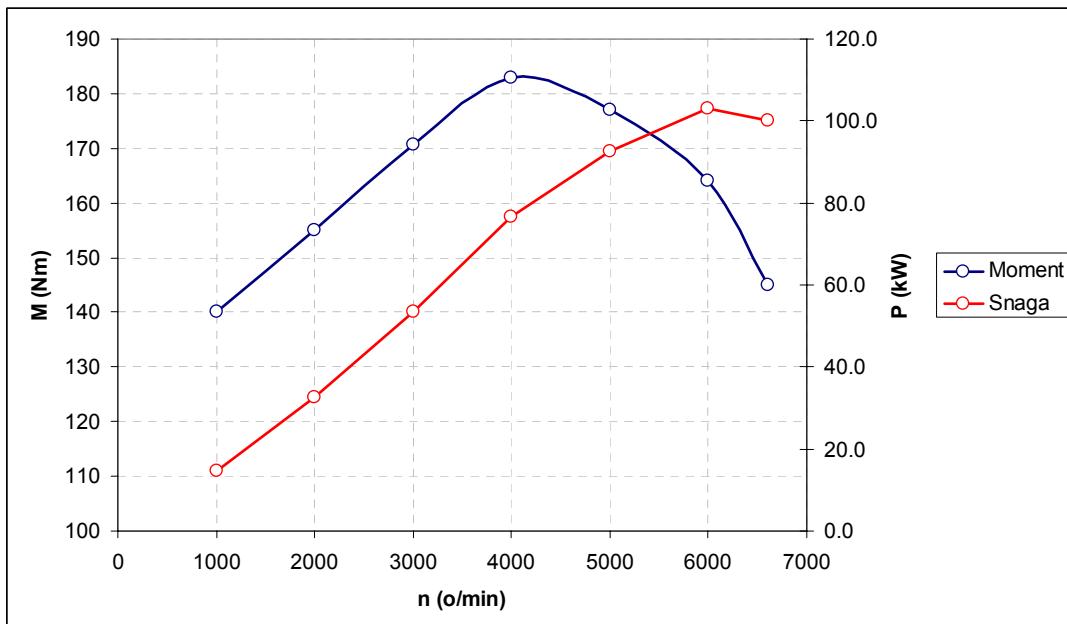
⁴ Maksimalni obrtni moment se takođe ne mora očitavati sa dijagrama, jer je njegova tačna vrednost data u podacima o motoru. Korišćenjem datih podataka za M_{MAX} i P_{MAX} postiže se – makar u te dve tačke – izbegavanje neminovnih odstupanja i netačnosti pri očitavanju sa dijagrama.

Pri korišćenju gornjih izraza važno je voditi računa o tome da se vrednosti za P i M odnose na datu vrednost broja obrtaja, tj. za svako n postoji jedan par vrednosti za P i M (što odgovara krivoj brzinske karakteristike motora).

PRIMER ZA UNOS PARAMETARA POGONSKOG MOTORA

Parametri motora										
								$M_{MAX} =$	183	Nm
n (o/min)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	6600	$P_{MAX} =$	103	kW
M (Nm)	140	155	171	183	177	164	145			
P (kW)	14.7	32.4	53.6	76.6	92.6	103.0	100.2	$n_{M_{max}} =$	4000	o/min
								$n_{P_{max}} =$	6000	o/min
Radna zapremina motora: 1995 cm ³										
Vrsta pogonskog goriva: benzin										

BRZINSKA KARAKTERISTIKA MOTORA – GRAFIČKI PRIKAZ



2 Otpori kretanja

Analiza otpora kretanja se vrši za jednoliko ($v = \text{const}$) kretanje vozila po ravnoj horizontalnoj podlozi ili podlozi sa uzdužnim nagibom pod uglom α , bez priključnog vozila. Otpori kretanja koji se javljaju u datim uslovima su:

- otpor kotrljanja F_f ,
- otpor vazduha F_w i
- otpor uspona F_α (za $\alpha \neq 0^\circ$).

F_f i F_w , za razliku od F_α , zavisne su od brzine kretanja, pa je potrebno sprovesti njihovo izračunavanje za niz različitih vrednosti brzine u određenom intervalu. Za savlađivanje svake od ovih sila pri određenoj brzini kretanja vozila troši se odgovarajuća snaga⁵:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v}{3600} \quad P_w = \frac{F_w \cdot v}{3600} \quad P_\alpha = \frac{F_\alpha \cdot v}{3600} \quad P(\text{kW}), F(\text{N}), v(\text{km/h})$$

P_f – snaga potrebna za savlađivanje otpora kotrljanja

P_w – snaga potrebna za savlađivanje otpora vazduha

P_α – snaga potrebna za savladivanje otpora uspona

Zavisnost otpora kretanja od brzine izračunava se za niz diskretnih vrednosti, od $v=0$ do $v=v_{\text{MAX}}^6$. Za v_{MAX} može se orijentaciono usvojiti vrednost za $\approx 20 \div \text{km/h}$ veća od stvarne maksimalne brzine kretanja navedene u podacima o vozilu.

2.1 Otpor kotrljanja

SILA OTPORA KOTRLJANJA F_f

Sila otpora kotrljanja točkova F_f određuje se kao proizvod težine vozila G [N] i koeficijenta otpora kotrljanja f [–], koji zavisi od brzine kretanja.

$$F_f = f \cdot G$$

KOEFICIJENT OTPORA KOTRLJANJA f

Koeficijent otpora kotrljanja se menja sa brzinom kretanja vozila. U mirovanju ($v=0$), statička vrednost koeficijenta otpora kotrljanja je f_0 :

$$f_0 = 0,01 - \text{za dobru asfaltну подлогу}$$

⁵ $P=dA/dt \Rightarrow P=F \cdot v$, relacija važi za osnovne jedinice

⁶ Na ovom mestu se pod v_{MAX} ne podrazumeva stvarna maksimalna moguća brzina kretanja vozila već maksimalna brzina za koju se izračuvaju otpori! Ona, po pravilu, treba da bude nešto veća od stvarne maksimalno moguće brzine.

Za zavisnost koeficijenta f od brzine u literaturi se u raznim izvorima navodi veći broj empirijskih relacija. Preporučuje se upotreba relacije:

$$f = f_0 + C_1 \cdot v + C_2 \cdot v^4 \quad \text{za } v \text{ (km/h):} \quad C_1 = 5,4 \cdot 10^{-6}, C_2 = 10^{-11}$$

SNAGA OTPORA KOTRLJANJA P_f

$$P_f = \frac{F_f \cdot v}{3600} \quad P_f(\text{kW}), F_f(\text{N}), v(\text{km/h})$$

2.2 Otpor vazduha

Sila otpora vazduha proporcionalna je koeficijentu otpora vazduha c_w , veličini čeone površine vozila $A(\text{m}^2)$ i kvadratu brzine kretanja.

SILA OTPORA VAZDUHA F_w

$$F_w = 0,0473 \cdot c_w \cdot A \cdot v^2 \quad , A(\text{m}^2), F_w(\text{N}), v(\text{km/h})$$

SNAGA OTPORA VAZDUHA P_w

$$P_w = \frac{F_w \cdot v}{3600} \quad P_w(\text{kW}), F_w(\text{N}), v(\text{km/h})$$

2.3 Otpor uspona

Uticaj otpora uspona analizira se za nekoliko raličitih vrednosti ugla uzdužnog nagiba podloge α , i to:

1. $\alpha = 3^\circ$ (uzbrdica od 5,2 %)
2. $\alpha = 6^\circ$ (uzbrdica od 10,5 %)
3. $\alpha = 10^\circ$ (uzbrdica od 17,6 %)

SILA OTPORA USPONA F_α

$$F_\alpha = G \cdot \sin \alpha \quad , G (\text{N})$$

SNAGA OTPORA USPONA P_α

$$P_\alpha = \frac{F_\alpha \cdot v}{3600} \quad , G (\text{N}), v(\text{km/h})$$

2.4 Ukupni otpori

Ukupni otpori određuju se za slučaj kretanja na horizontalnoj podlozi kao i za sva tri slučaja kretanja na usponu.

UKUPNA SILA OTPORA

Na horizontalnoj podlozi: $F_{UK} = F_f + F_w$

Na usponu: $F_{UK} = F_f + F_w + F_a$

UKUPNA SNAGA OTPORA

Na horizontalnoj podlozi: $P_{UK} = P_f + P_w$

Na usponu: $P_{UK} = P_f + P_w + P_a$

Ukupna snaga otpora se može izračunati i kao:

$$P_{UK} = \frac{F_{UK} \cdot v}{3600}$$

Grafičko prikazivanje otpora kretanja

Karakter promene ukupnog otpora kretanja vozila, kao i njegove pojedinačne komponente potrebno je prikazati grafički, što obuhvata prikaz sledećih dijagrama:

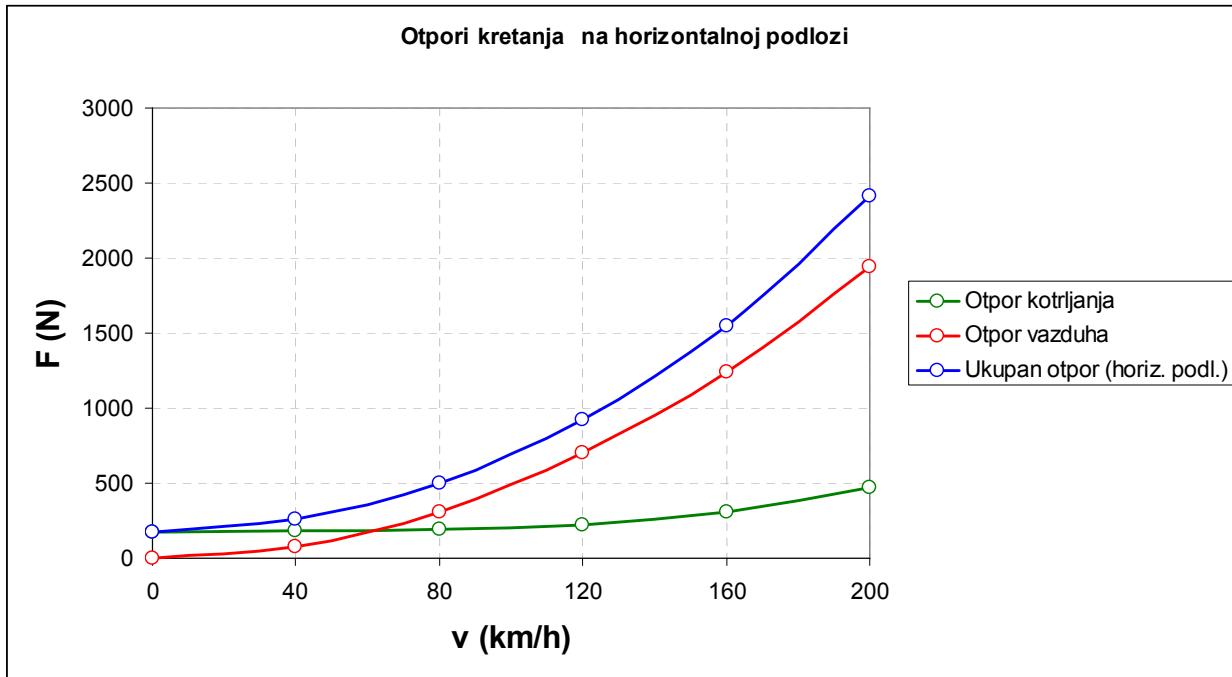
1. Dijagrami sila otpora kretanja
 - 1.1. Dijagram sila otpora kotrljanja, otpora vazduha i ukupnog otpora na horizontalnoj podlozi
 - 1.2. Dijagram u kome su prikazane sve pojedinačne komponente i ukupne sile otpora kretanja za sve analizirane slučajeve
2. Dijagrami snaga otpora kretanja
 - 2.1. Dijagram snaga otpora kotrljanja, otpora vazduha i ukupnog otpora na horizontalnoj podlozi
 - 2.2. Dijagram u kome su prikazane sve pojedinačne komponente i ukupne snage otpora kretanja za sve analizirane slučajeve

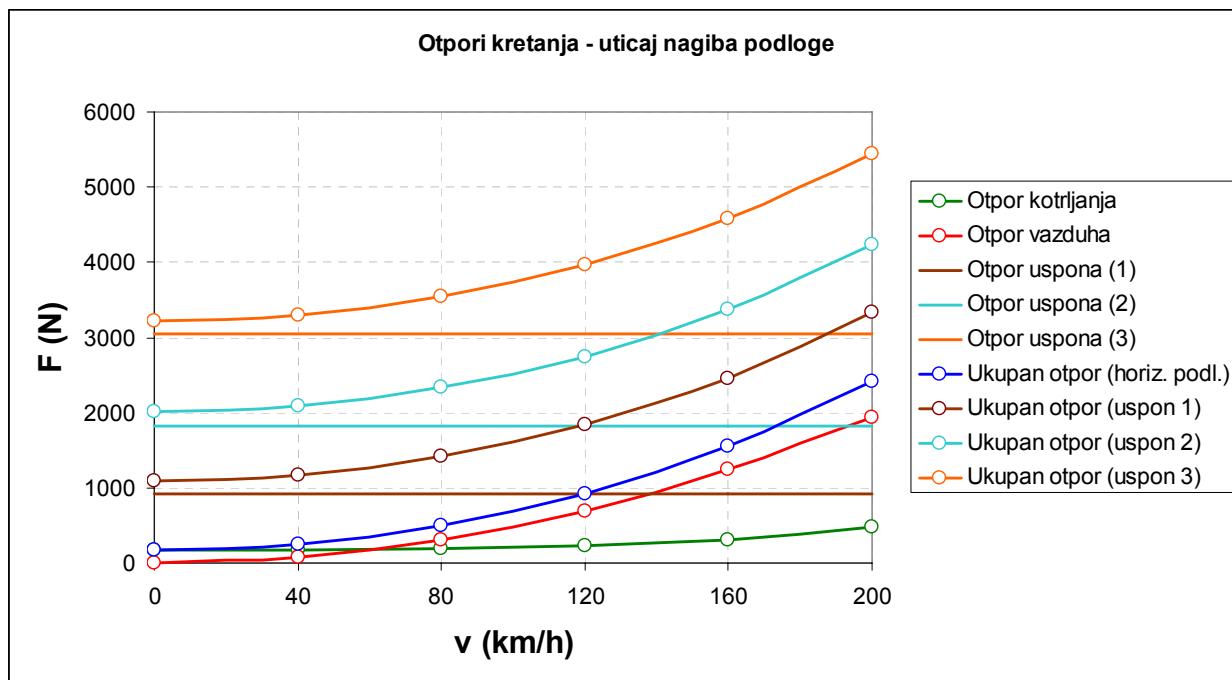
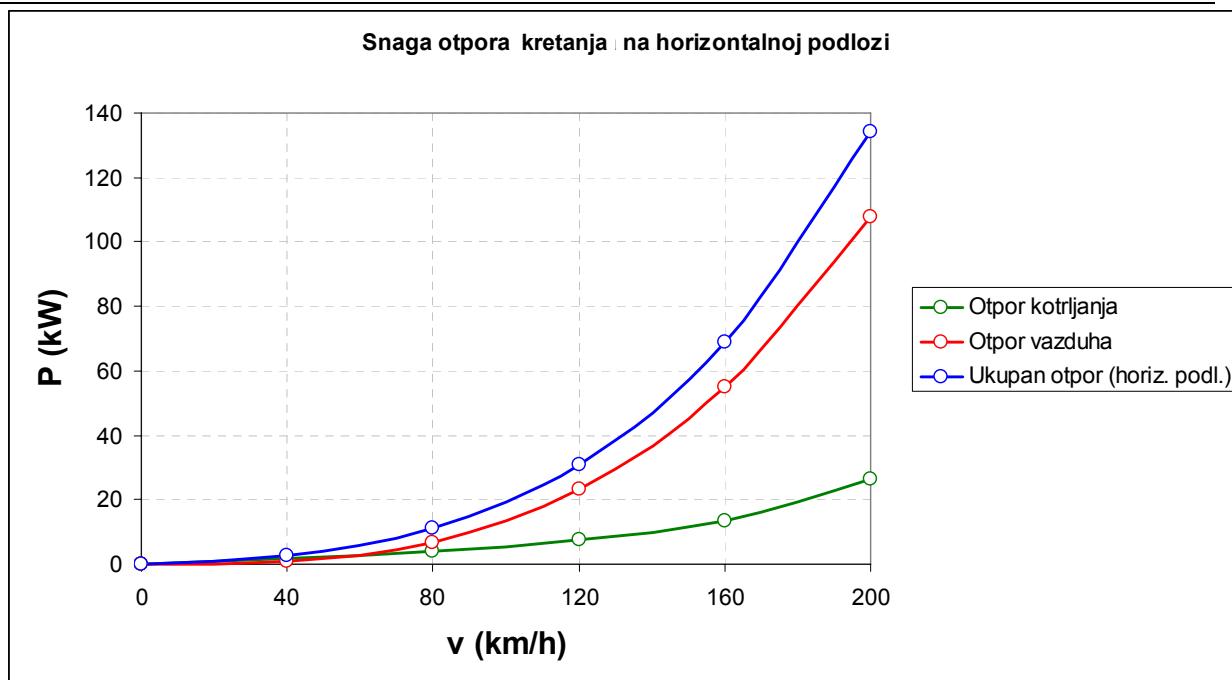
PRIMER ZA IZRAČUNAVANJE OTPORA KRETANJA

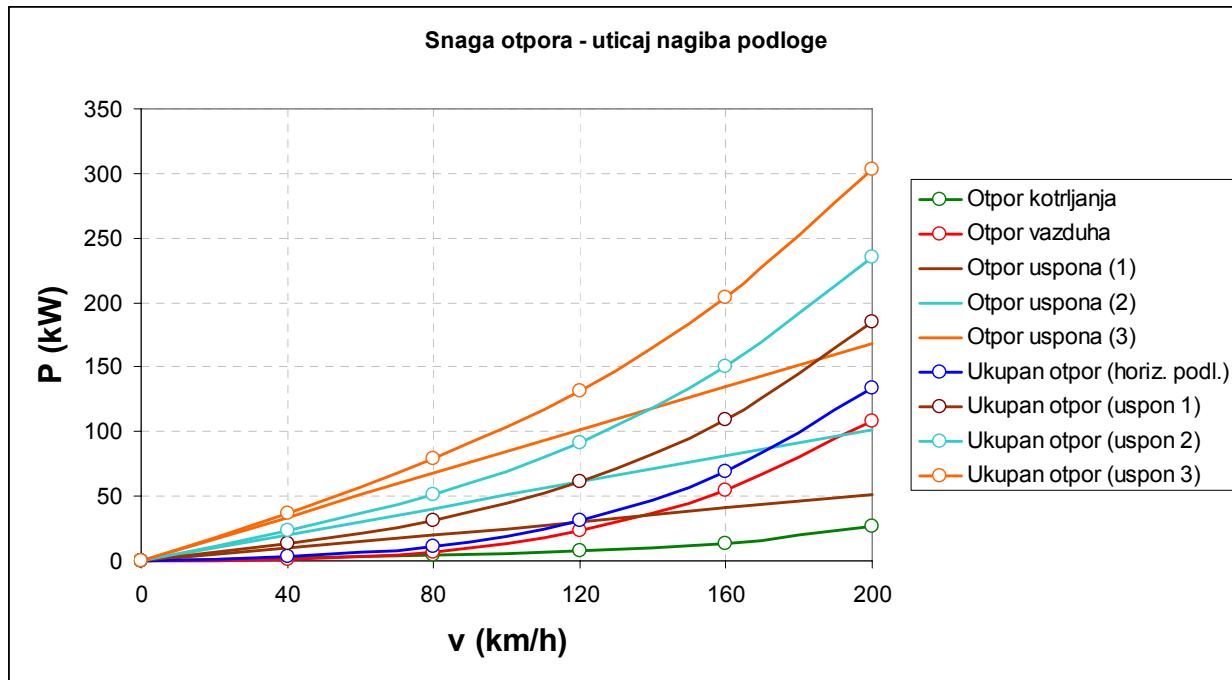
<u>Otpori kretanja</u>								
Brzina		v (km/h)	0	40	80	120	160	200
Koef. otp. kotrlj.		f	0.010	0.010	0.011	0.013	0.017	0.027

	Sile otpora kretanja								
	Otpor kotrljanja		F_f	175	179	190	223	305	474
α ($^{\circ}$)	Otpor vazduha		F_w	0	78	310	698	1241	1939
3	Otpor uspona	$\alpha = 3^{\circ}$	F_{α}	916	916	916	916	916	916
6		$\alpha = 6^{\circ}$		1829	1829	1829	1829	1829	1829
10		$\alpha = 10^{\circ}$		3039	3039	3039	3039	3039	3039
	Ukupan otpor	$\alpha = 0^{\circ}$	F_{UK}	175	257	500	921	1546	2413
		$\alpha = 3^{\circ}$		1091	1173	1416	1837	2462	3329
		$\alpha = 6^{\circ}$		2004	2086	2329	2750	3375	4242
		$\alpha = 10^{\circ}$		3214	3296	3539	3960	4585	5452
	Snage otpora kretanja								
	Otpor kotrljanja		P_f	0	2	4	7	14	26
	Otpor vazduha		P_w	0	1	7	23	55	108
	Otpor uspona	$\alpha = 3^{\circ}$	P_{α}	0	10	20	31	41	51
		$\alpha = 6^{\circ}$		0	20	41	61	81	102
		$\alpha = 10^{\circ}$		0	34	68	101	135	169
	Ukupan otpor	$\alpha = 0^{\circ}$	P_{UK}	0	3	11	31	69	134
		$\alpha = 3^{\circ}$		0	13	31	61	109	185
		$\alpha = 6^{\circ}$		0	23	52	92	150	236
		$\alpha = 10^{\circ}$		0	37	79	132	204	303

OTPORI KRETANJA – GRAFIČKI PRIKAZ







3 VUČNO-BRZINSKA KARAKTERISTIKA

Vučno-brzinska karakteristika predstavlja zavisnost raspoložive obimne (vučne) sile na točku od brzine kretanja. Ova karakteristika predstavlja izlazni pokazatelj zajedničkog rada pogonskog motora SUS i menjačkog prenosnika.

Postupak određivanja vučno-brzinske karakteristike na osnovu karakteristike motora i parametara transmisije

Definisanje vučno-brzinske karakteristike vozila podrazumeva određivanje obimne sile na točku u funkciji brzine kretanja za svaki stepen prenosa menjača, i to za ceo radni dijapazon brojeva obrtaja motora. U okviru određenog stepena prenosa (u kom prenosni odnos menjača ima stalnu vrednost i_m), postupak sprovodi se na sledeći način:

1. Za određeni broj obrtaja motora n , izračunati brzinu kretanja vozila v [km/h] u datom stepenu prenosa:

$$v = \frac{0,377 \cdot r_D \cdot n}{i_m \cdot i_{GP}}$$

v (km/h), r_D (m), n (o/min)

2. Za obrtni moment motora koji odgovara istom tom broju obrtaja motora n , izračunati obimnu silu F_O [N]:

$$F_O = \frac{M \cdot i_m \cdot i_{GP} \cdot \eta_{TR}}{r_D}$$

F_O (N), M (km/h), r_D (m)

Dobijena vrednost sile odgovara vrednosti brzine izračunate u prethodnom koraku. Dakle, određeni režim rada motora (definisan vrednostima broja obrtaja n i obrtnog momenta M) preslikan je na režim kretanja vozila (definisan vučnom silom F_o i brzinom kretanja v). Time je definisana jedna tačka dijagrama vučno-brzinske karakteristike.

3. Na navedeni način izračunati parove vrednosti F_o i v za sve definisane vrednosti režima pogonskog motora (za sve vrednosti brojeva obrtaja i njima odgovarajućeg obrtnog momenta – vidi primer na kraju tačke 1.3). Ovim je uspostavljena zavisnost raspoložive vučne sile u zavisnosti od brzine, odnosno karakteristika motora $M = M(n)$ je preslikana u zavisnost $F_o = F_o(v)$ ⁷, u okviru jednog konstantnog stepena prenosa.

4. Opisane korake sprovesti za sve stepene prenosa menjajući, uzimajući pri tome u obzir odgovarajuće vrednosti prenosnog odnosa i_m ($i_m = i_1, i_{III}, i_{III}, \dots$).

Dobijen niz vrednosti za F_o i v u svim stepenima prenosa menjajući reprezentuje vučno-brzinsku karakteristiku motora, koju je potrebno predstaviti grafički odgovarajućim dijagramom.

Komentar:

Može se primetiti da vučno-brzinska karakteristika vozila zapravo predstavlja objedinjeni prikaz nekoliko dijagrama (kojih ima onoliko koliko i stepeni prenosa menjajuća). Svaki od tih dijagrama pojedinačno predstavlja karakteristiku motora preslikanu na vučno-brzinsku karakteristiku vozila u okviru jednog stepena prenosa, „povišenu i suženu“ ili „sniženu i proširenu“, tj. skaliranu prenosnim odnosom tekućeg stepena prenosa. Kako se prilikom „preslikavanja“ vučna sila množi a brzina deli sa tekućom vrednošću prenosnog odnosa menjajuća i_m , vučne sile u nižim stepenima prenosa (veći prenosni odnosi) imaju veću a brzine manju vrednost (kriva obimne sile je u vertikalnom pravcu „razvučena“ a u horizontalnom „skupljena“ za isti faktor – i_m). U višem stepenu prenosa, vučne sile su manje a brzine veće, odnosno dijapazon sile se smanjuje a dijapazon brzina povećava, u skladu sa smanjivanjem vrednosti i_m u višim stepenima prenosa.

IDEALNA HIPERBOLA VUČE

Idealna hiperbola⁸ predstavlja teorijsku zavisnost vučne sile na točku od brzine kretanja, uz prepostavku da je maksimalna snaga motora P_{MAX} dostupna u celom dijapazonu brzina kretanja vozila, uz uzimanje u obzir gubitaka u transmisiji:

$$F_{Oid} = \frac{3600 \cdot P_{MAX} \cdot \eta_{TR}}{v}$$

Idealna hiperbola se prikazuje na dijagramu vučno-brzinske karakteristike, zajedno sa krivama stvarne vrednosti vučne sile čije je dobijanje objašnjeno u prethodnom odeljku. Za mogućnost grafičkog prikazivanja idealne hiperbole neophodno je izračunati vrednosti F_{Oid} za nekoliko različitih vrednosti brzine kretanja. Izbor tačaka (tj. vrednosti brzine) je i u ovom slučaju proizvoljan, s tim što treba voditi računa da niz ne počne od $v = 0$ već od neke konačne vrednosti brzine, npr. 20 km/h.

Za izbor tačaka može se iskoristiti i činjenica da idealna hiperbola, na osnovu svoje definicije, tangira krive stvarne vučne sile u pojedinim stepenima prenosa u tačkama koje odgovaraju broju

⁷ Prenosni odnos menjajuća pri tome predstavlja faktor skaliranja (vučna sila je proporcionalna proizvodu momenta i prenosnog odnosa, a brzina količniku broja obrtaja i prenosnog odnosa)

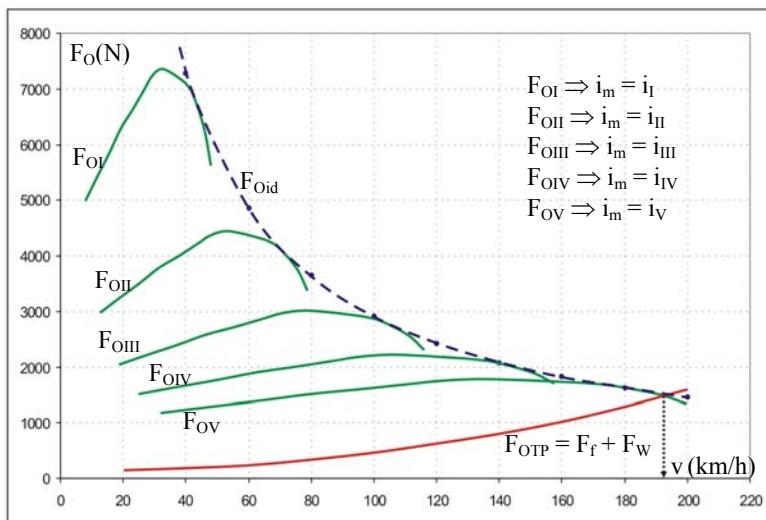
⁸ Pojam „idealna“ se u ovom slučaju ne odnosi, kako je to inače uobičajeno, na stepen korisnosti u energetskom smislu, već na idealni (sa aspekta vučnih performansi) oblik krive koja opisuje zakonitost promene vučne sile u funkciji brzine kretanja vozila, a uzimajući u obzir maksimalnu raspoloživu snagu motora.

obrtaja maksimalne snage motora ($n_{P_{max}}$). Ova činjenica takođe olakšava vizuelnu kontrolu prilikom crtanja dijagrama vučno-brzinske karakteristike: krive $F_O(v)$ za pojedine stepene prenosa treba da se dodiruju (ne seku!) sa krivom $F_{Oid}(v)$.

U primeru navedenom na kraju ovog odeljka, tabela sa podacima za crtanje idealne hiperbole sadrži polja sa svetlo-plavom pozadinom ($v = 42, 82, 114, 156$ i 193 km/h). Ova polja sadrže vrednosti brzine za broj obrtaja motora $n = n_{P_{max}}$ za svih 5 stepeni prenosa. Vrednosti brzine u ostalim poljima su izabrane proizvoljno, tako se dobije dovoljan broj tačaka za zadovoljavajući grafički prikaz. Još jednom se napominje da ovakav postupak nije obavezan, odnosno može se koristiti bilo koji niz vrednosti brzine (npr. 20, 40, 60... itd. km/h)

GRAFIČKO ODREĐIVANJE MAKSIMALNE BRZINE KRETANJA V_{MAX} NA OSNOVU VUČNOG DIJAGRAMA

Sve dok je vučna sila veća od sile otpora kretanja ($F_O > F_{OTP}$), rezultujuća sila je veća od nule pa, prema Drugom Njutnovom zakonu, vozilo ubrzava⁹. Pošto sila F_O opada a F_{OTP} raste sa porastom brzine, pri nekoj brzini ove sile će se izjednačiti tj. naći će se u ravnoteži. Tada ubrzavanje više nije moguće odnosno sledi da vozilo u tom režimu postiže maksimalnu brzinu kretanja. Na ovom principu zasniva se postupak grafičkog određivanja v_{MAX} . Ovaj postupak se sastoji u očitavanju vrednosti brzine v na mestu preseka krivih stvarne obimne sile na točku F_O i krive ukupnih otpora F_{OTP} . Sa dijagraama se takođe može odrediti u kom stepenu prenosa vozilo dostiže maksimalnu brzinu (po pravilu, maksimalna brzina se dostiže u poslednjem ili preposlednjem stepenu prenosa, što zavisi od karakteristika transmisije i ostalih parametara vozila). Ilustracija postupka prikazana je na slici 6.

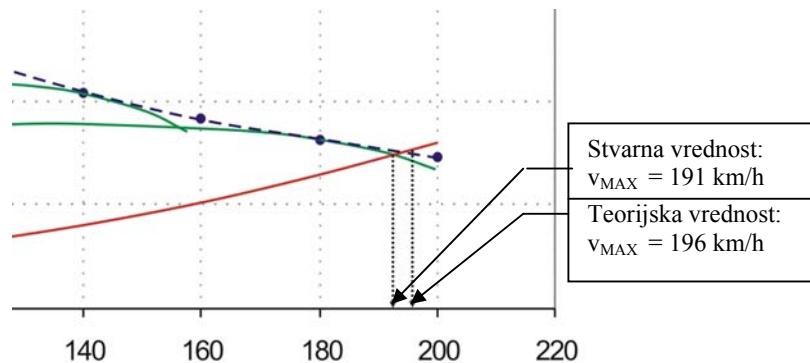


*Slika 6. Stvarna hiperbola vuče – vučni dijagram
Zavisnost raspoložive obimne (vučne) sile na točku F_O od brzine kretanja v ; F_{Oid} – idealna hiperbola; F_{OTP} – otpori kretanju*

Pored stvarne, moguće je odrediti i teorijsku vrednost maksimalne brzine, odnosno onu koju bi vozilo moglo da dostigne sa aspekta raspoložive maksimalne snage pogonskog motora. Teorijska maksimalna brzina određuje se presekom krivih F_{Oid} i F_{OTP} . Stvarna vrednost maksimalne brzine je obično nešto manja od teorijske, mada se odgovarajućim izborom prenosnih odnosa transmisije

⁹ Ovde se radi o kretanju vozila pri radu motora SUS na spoljnoj karakteristici, za koju je i definisana posmatrana vučno-brzinska karakteristika vozila. Prelaskom na neku od parcijalnih karakteristika motora, tj. „smanjivanjem gasa“, vozilo se može kretati bilo kojom manjom brzinom.

može postići njihovo izjednačavanje (što se u praksi takođe često sreće). Na slici 7 prikazan je uvećani detalj vučnog dijagrama prikazanog na slici 6, sa ilustracijom postupka određivanja teorijske i stvarne maksimalne brzine.

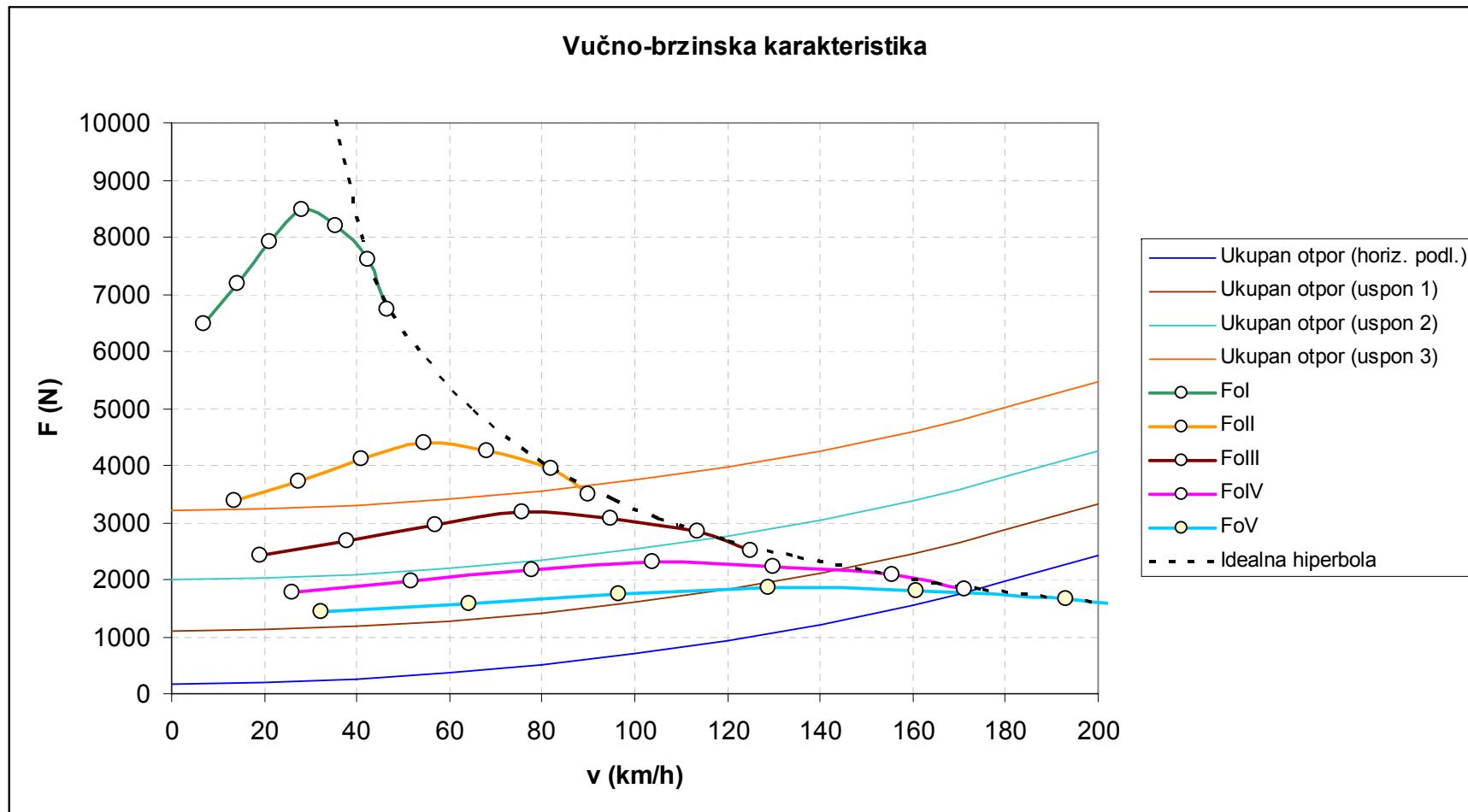


Slika 7. Grafičko određivanje teorijske i stvarne maksimalne brzine kretanja vozila v_{MAX}

PRIMER ZA IZRAČUNAVANJE VUČNO-BRZINSKE KARAKTERISTIKE

¹⁰ Prenosni odnosi menjача

VUČNO-BRZINSKA KARAKTERISTIKA I ODREĐIVANJE V_{MAX} – GRAFIČKI PRIKAZ



Vrednosti maksimalne brzine kretanja za različite vrednosti nagiba podloge očitane sa vučnog dijagrama:

Ugao nagiba podloge	Maksimalna brzina vozila (približno)
0°	173 km/h
3°	145 km/h
6°	117 km/h
10°	89 km/h

4 UBRZANJE

DINAMIČKA KARAKTERISTIKA

Definicija:

$$D = \frac{F_o - F_w}{G}$$

OTPOR INERCije PRI UBRZANJU VOZILA

Prilikom ubrzavanja vozila javlja se, pored inercijalne sile usled translatornog ubrzanja, i inercioni otpor rotacionih masa (točkovi i komponente transmisije čije rotaciono kretanje pri ubrzavanju vozila takođe treba ubrzati). Redukovanjem inercije rotacionih masa na pogonski točak može se napisati izraz na osnovu koga je ukupan otpor pri ubrzavanju jednak zbiru otpora translatornog ubrzanja i otpora ubrzanja rotacionih masa¹¹:

$$F_{IN} = F_{IN}^{tr} + F_{IN}^{rot}$$

$$F_{IN}^{tr} = m \cdot a \quad F_{IN}^{rot} = \frac{1}{r_D} \cdot M_{IN}^{rot} \quad M_{IN}^{rot} - \text{ekvivalentni moment inercije svih rotacionih masa redukovani na pogonski točak}$$

Radi pojednostavljenja postupka, uticaj inercije rotacionih masa na ubrzanje vozila u praksi se uobičajeno uzima u obzir putem empirijskog koeficijenta δ kojim se množi sila inercije translatornog ubrzanja. Ovaj koeficijent zavisi od ukupnog prenosnog odnosa transmisije, i_{TR} ¹²:

$$F_{IN} = \delta \cdot m \cdot a$$

$$\delta = 1,03 + 0,0018 \cdot i_{TR}^2$$

¹¹ U stvarnosti uticaj inercije rotacionih masa dovodi do umanjenja raspoložive obimne sile na točku, jer se savladavanje ove inercije vrši na račun obrtnog momenta pogonskog motora. Zbog pojednostavljenja računskog postupka, međutim, usvaja se da obimna sila ima punu vrednost kao za slučaj ustaljenog kretanja vozila, a uticaj rotacionih masa se tretira kao dodatna komponenta otpora kretanja.

¹² $i_{TR} = i_m \cdot i_{GP}$

IZRAČUNAVANJE UBRZANJA

Kada vozilo ubrzava na horizontalnom putu ($\alpha=0^\circ$), tada važi:

$$\text{Bilans sile: } F_O = F_f + F_W + F_{IN} \Rightarrow F_{IN} = \delta \cdot \frac{G}{g} \cdot a = F_O - G \cdot f - F_W$$

Deljenjem gornjeg izraza sa G, na osnovu definicije dinamičke karakteristike D, dobija se:

$$a = \frac{D-f}{\delta} \cdot g$$

PRIMER ZA IZRAČUNAVANJE UBRZANJA

<u>Dinamička karakteristika i ubrzanje:</u>										
$\delta_I =$	1.66	Brzina	v_I	7	14	21	28	35	42	47
		f		0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
		F_W		2	10	22	39	61	87	106
		D	D_I	0.37	0.41	0.45	0.48	0.47	0.43	0.38
		Ubrzanje	a_I	2.14	2.37	2.62	2.80	2.70	2.48	2.18
		Recipr. Ubrzanje	$1/a_I$	0.47	0.42	0.38	0.36	0.37	0.40	0.46
$\delta_{II} =$	1.2	Brzina	v_{II}	14	27	41	55	68	82	90
		F		0.010	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.011
		F_W		9	36	81	144	225	325	393
		D	D_{II}	0.19	0.21	0.23	0.24	0.23	0.21	0.18
		Ubrzanje	a_{II}	1.49	1.64	1.80	1.91	1.80	1.60	1.36
		Recipr. Ubrzanje	$1/a_{II}$	0.67	0.61	0.55	0.52	0.56	0.62	0.74
$\delta_{III} =$	1.12	Brzina	v_{III}	19	38	57	76	95	114	125
		F		0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013
		F_W		17	70	156	278	434	626	757
		D	D_{III}	0.14	0.15	0.16	0.17	0.15	0.13	0.10
		Ubrzanje	a_{III}	1.12	1.22	1.32	1.36	1.22	1.00	0.77
		Recipr. Ubrzanje	$1/a_{III}$	0.89	0.82	0.76	0.74	0.82	1.00	1.31
$\delta_{IV} =$	1.08	Brzina	v_{IV}	26	52	78	104	130	156	171
		F		0.010	0.010	0.011	0.012	0.014	0.017	0.020
		F_W		33	131	294	523	816	1176	1423
		D	D_{IV}	0.10	0.10	0.11	0.10	0.08	0.05	0.02
		Ubrzanje	a_{IV}	0.81	0.86	0.87	0.83	0.62	0.31	0.04
		Recipr. Ubrzanje	$1/a_{IV}$	1.23	1.17	1.14	1.21	1.62	3.18	28.25

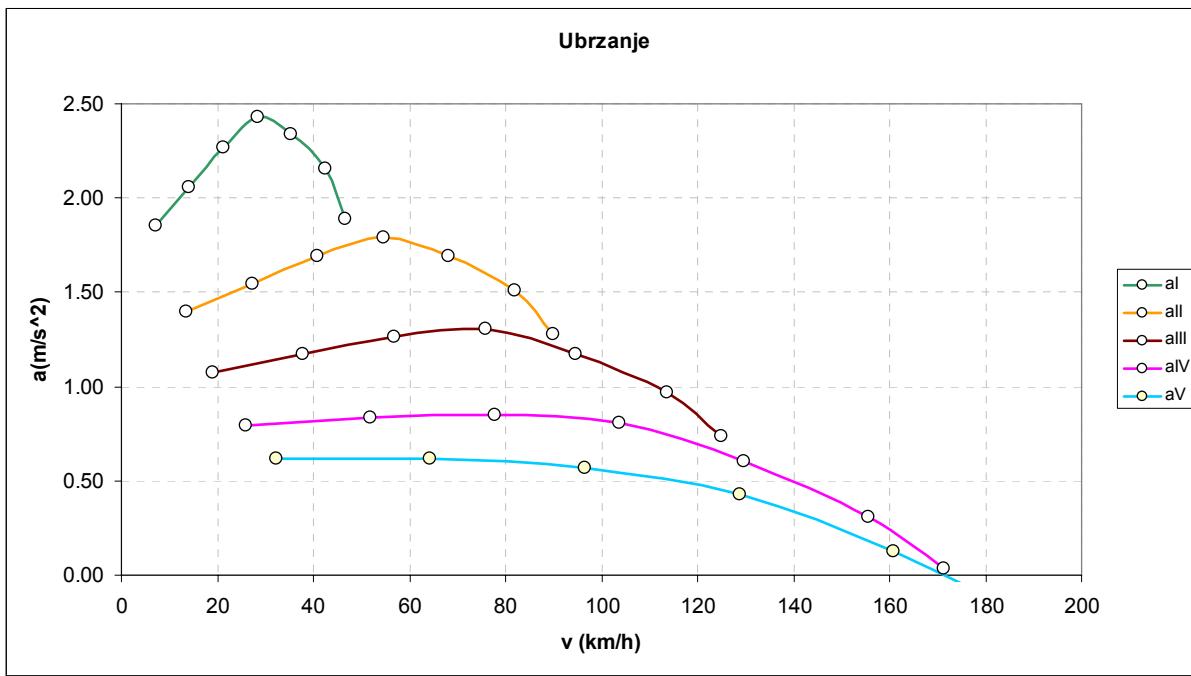
I STEPEN
PRENOSA

II STEPEN
PRENOSA

itd.

$\delta_v =$	1.06	Brzina	v_v	32	64	97	129	161	193	212
		F		0.010	0.011	0.011	0.013	0.018	0.025	0.032
		F_w		50	201	452	803	1255	1808	2187
		D	D_v	0.08	0.08	0.07	0.06	0.03	-0.01	-0.04
		Ubrzanje	a_v	0.63	0.63	0.58	0.44	0.13	-0.30	-0.67
		Recipr. ubrzanje	$1/a_v$	1.58	1.58	1.73	2.29	7.85	-3.30	-1.50

UBRZANJE – GRAFIČKI PRIKAZ



4.1 Vreme i put zaleta

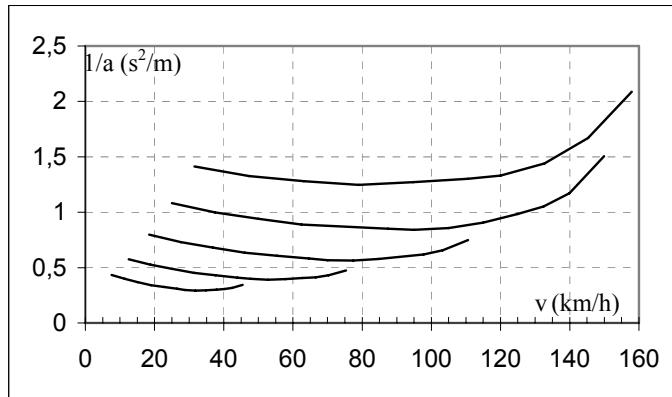
VREME ZALETA

Vreme zaleta predstavlja osnovni parametar za ocenu ubrzanja vozila. Za određivanje vremena zaleta koristi se osnovna kinematička definicija ubrzanja:

$$a = \frac{dv}{dt} \Rightarrow dt = \frac{1}{a} dv \Rightarrow t_z = \int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{a} dv$$

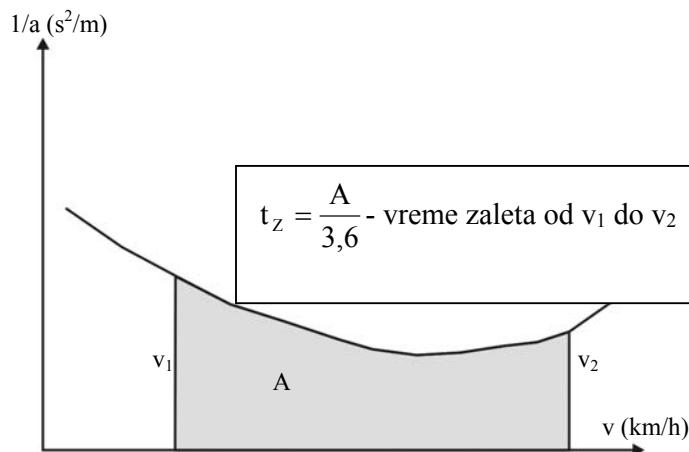
Vreme zaleta vozila od brzine v_1 do brzine v_2 , dakle, jednako je površini ispod krive recipročnog ubrzanja u funkciji brzine na intervalu od v_1 do v_2 . S obzirom na to da zavisnost recipročnog ubrzanja od brzine nije raspoloživa u analitičkoj formi, vrednost određenog integrala se izračunava

približno, neposrednim približnim izračunavanjem veličine površine ispod krive na osnovu geometrije.



Slika 8. Dijagram recipročnih ubrzanja

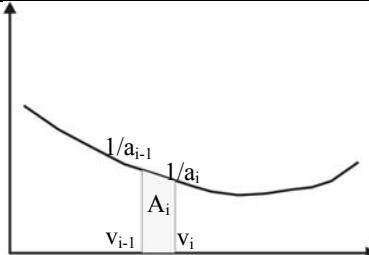
Gornji izraz za vreme zaleta važi za osnovne jedinice. Pošto je u razmatranom slučaju brzina izražena u [km/h], vrednost određenog integrala je potrebno još podeliti sa 3,6.



Slika 9. Primer grafičke integracije: vreme zaleta od brzine v_1 do brzine v_2 proporcionalno je površini A

GRAFIČKA INTEGRACIJA (PRIBLIŽNO IZRAČUNAVANJE POVRŠINE ISPOD KRIVE) – PRINCIP

Ukupna površina ispod krive izračunava se približno, podelom na segmente čiji se oblik aproksimira pravougaonikom ili trapezom (na primeru na sl. 10 prikazan je trapez) i zatim sabiranjem površina (odnosno parcijalnih vremena zaleta) pojedinih segmenata.



Slika 10. Aproksimacija segmenta trapezom

Površina trapeza proporcionalna je vremenu zaleta od brzine koja definiše njegovu levu ivicu, do brzine koja odgovara desnoj ivici (na slici 10, od v_{i-1} do v_i).

$$\text{Površina trapeza: } A_i = \Delta v_i \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i-1}} \right)_i = \frac{1}{2} \cdot (v_i - v_{i-1}) \cdot \left(\frac{1}{a_i} + \frac{1}{a_{i-1}} \right);$$

$$t_i = \frac{A_i}{3,6}$$

- vreme zaleta od $v=v_{i-1}$ do $v=v_i$

Nakon izračunavanja parcijalnih vremena zaleta za sve tačke dijagrama, ukuno vreme zaleta (t_Z) do neke određene brzine v_0 (npr. $v_0=100$ km/h) određuje se kao suma svih prethodnih vremena zaleta t_i ($t_Z=\sum t_i$, gde je t_i – vreme zaleta od v_{i-1} do v_i).

OGRANIČAVANJE BRZINE DO KOJE SE VRŠI ANALIZA VREMENA I PUTA ZALETA

Vreme i put zaleta rastu eksponencijalno sa brzinom, što znači da se njihova vrednost za brzine bliske maksimalnoj brzini kretanja datog vozila neproporcionalno povećava. Iz ovog razloga se analiza parametara ubrzanja vrši do neke ograničene brzine, koja je dovoljno ispod maksimalne, a što zavisi od karakteristika samog vozila (npr. 120, 140, 160 km/h ili sl.).

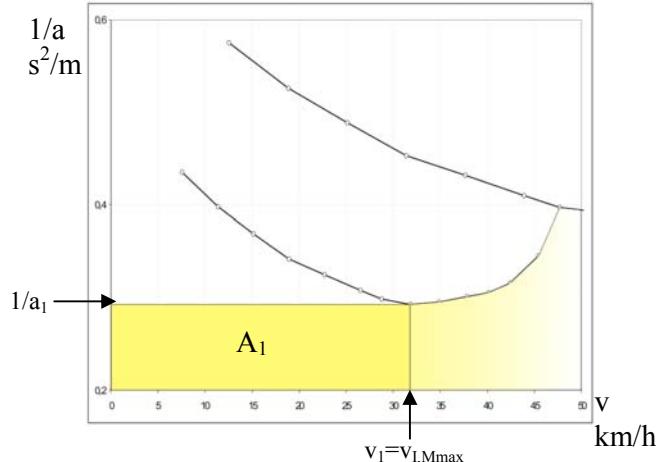
UBRZAVANJE PRI POLASKU VOZILA IZ MESTA

Pri analizi maksimalnog mogućeg ubrzanja svrshishodno je usvojiti pojednostavljenu pretpostavku da se ubrzavanje pri polasku vozila iz mesta, dok traje klizanje spojnica, odvija pri maksimalnoj vrednosti obrtnog momenta motora. Zanemarivanje promene otpora kretanja u tom periodu (što predstavlja još jedno dopušteno pojednostavljenje) dovodi do zaključka da je i ubrzanje, a samim tim i njegova recipročna vrednost, u ovom periodu konstantno, i odgovara tački maksimalnog obrtnog momenta motora. U tom slučaju, prvi segment dijagrama predstavlja pravougaonik čija je površina:

$$A_1 = \frac{1}{a_1} \cdot v_1 \quad ; \quad t_1 = \frac{A_1}{3,6}$$

- vreme zaleta od $v=0$ do $v=v_1$; $v_1 = v_{I,M_{max}}^{13}$

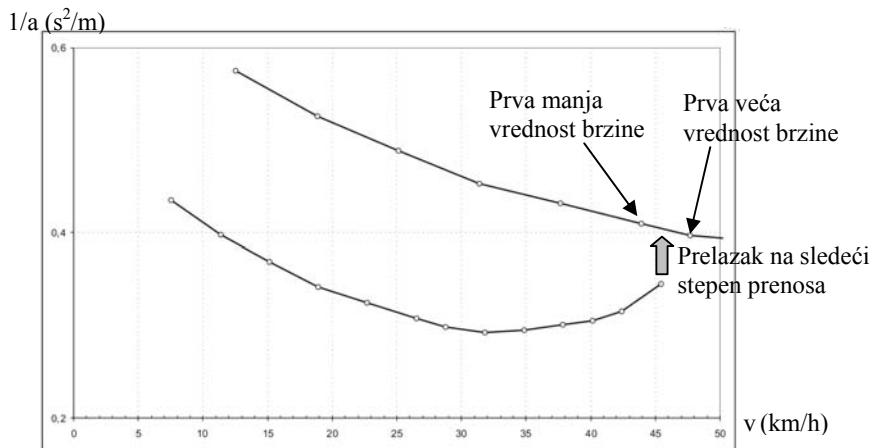
¹³ Brzina u prvom stepenu prenosa, za broj obrtaja motora pri maksimalnom obrtnom momentu M_{MAX}



Slika 11. Ubrzavanje pri polasku (sa klizanjem spojnice): površina A_1

PROMENA STEPENA PRENOSA

Prilikom ubrzavanja, pri dostizanju maksimalnog broja obrtaja motora dolazi do promene stepena prenosa od nižeg na sledeći viši stepen, o čemu pri grafičkoj integraciji takođe treba voditi računa. Prilikom prelaska na sledeći stepen prenosa, računanje treba početi od prve veće vrednosti brzine (slika 12). Prekid toka snage i posledični pad brzine kretanja pri promeni stepena prenosa se, zbog pojednostavljenja postupka, ne uzima u obzir.



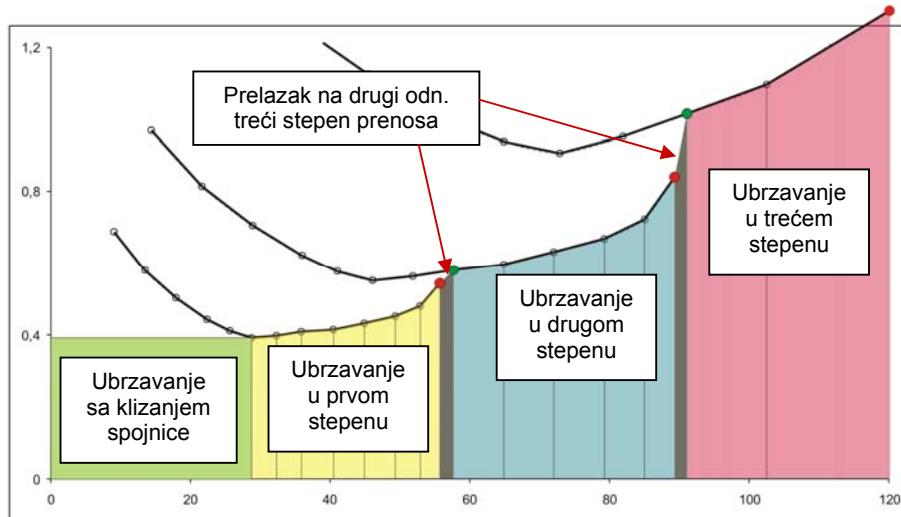
Slika 12. Prelazak na sledeći viši stepen prenosa

POSTUPAK IZRAČUNAVANJA VREMENA ZALETA t_z

1. Definisati pojedinačne faze ubrzavanja (sl. 13):
 - a. Prva faza: kretanje sa klizanjem spojnice
 - b. Ostale faze: prvi i naredni stepeni prenosa
2. Formirati tabelu sa vrednostima brzina iz pojedinih faza i odgovarajućim vrednostima recipročnog ubrzanja (vidi primer na kraju odeljka)
3. Prema navedenim uputstvima, izračunati parcijalna vremena zaleta između pojedinih brzina
4. Izračunati vrednosti ukupnog vremena zaleta za posmatrane vrednosti brzine. Vreme zaleta t_z od $v=0$ do $v=v_i$ dobija se sumiranjem svih prethodnih vremena zaleta t_i : $t_z = \sum t_i$

PRIMER ZA IZRAČUNAVANJE UKUPNOG VREMENA ZALETA:

v (km/h)	7,99	11,99	15,99	19,99	22,78	25,58	28,78	...
t_i (s)	1,58	0,73	0,62	0,54	0,34	0,32	0,36	
t_Z (s)	1,58	1,58 - 2,30	1,58 - 2,92	1,58 - 3,46	1,58 - 3,80	1,58 - 4,12	1,58 - 4,48	1,58 - ...



Slika 13. Pojedine faze pri ubrzavanju

PUT ZALETA U ZAVISNOSTI OD BRZINE

Put zaleta se takođe određuje grafičkom integracijom, približnim računanjem površine ispod krive $v=v(t)$:

$$v = \frac{ds}{dt} \Rightarrow ds = v \cdot dt \Rightarrow s = \int_0^t v \cdot dt$$

Površina pojedinih trapeznih segmenata određuje se kao:

$$A_i = \Delta t_i \cdot \frac{1}{2} \cdot (\Delta v_i) = \frac{1}{2} \cdot (t_i - t_{i-1}) \cdot (v_i + v_{i-1}),$$

gde su v i t parovi vrednosti za brzinu i vreme zaleta do te brzine, sračunati u prethodnoj tački. Put zaleta od brzine v_{i-1} do brzine v_i se dobija deljenjem površine sa 3,6:

$$s_i(m) = \frac{A}{3,6}$$

Ukupan put zaleta od $v=0$ do $v=v_i$ dobija se sumiranjem vrednosti s_i .

$$s = \sum s_i$$

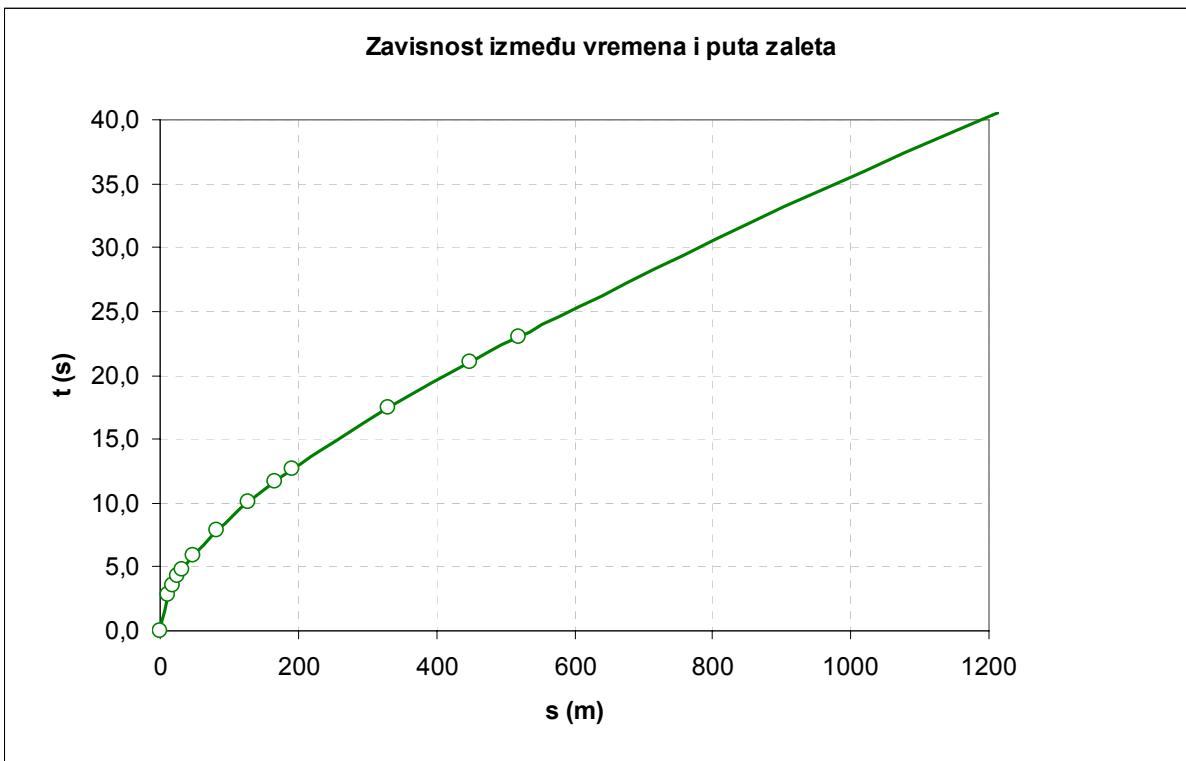
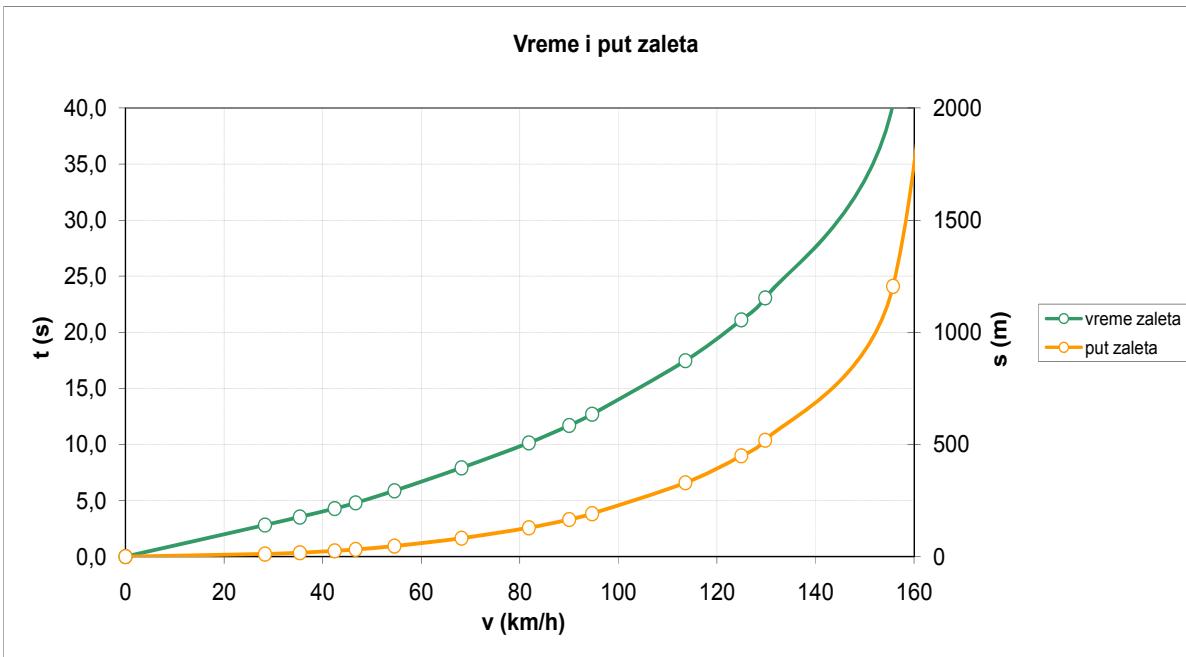
VREME ZALETA U ZAVISNOSTI OD PREĐENOG PUTA

Na osnovu prethodno izračunatih podataka za t_Z i s_Z , moguće je nacrtati dijagram u kom su ova dva parametra međusobno povezana, npr. kao dijagram vremena potrebnog za prelazak određene dužine puta pri ubrzavanju vozila iz mirovanja.

PRIMER ZA IZRAČUNAVANJE VREMENA I PUTA ZALETA

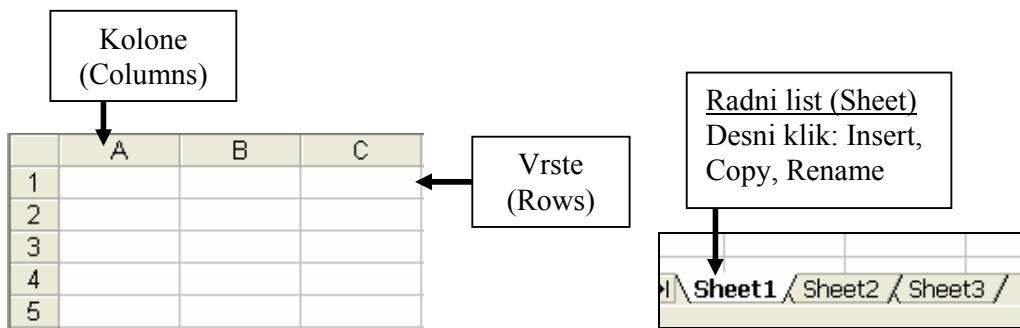
Vreme zaleta															
klizanje spojnice															
brzina, km/h				prvi stepen			drugi stepen			treći stepen			četvrti stepen		
	0	28	35	42	47	55	68	82	90	95	114	125	130	156	171
1/a	-	0,36	0,37	0,40	0,46	0,52	0,56	0,62	0,74	0,82	1,00	1,31	1,62	3,18	28,25
Δt	0,0	2,8	0,7	0,8	0,5	1,1	2,0	2,2	1,5	1,0	4,8	3,6	2,0	17,3	68,0
t_z	0,0	2,8	3,5	4,3	4,8	5,9	7,9	10,1	11,7	12,7	17,5	21,1	23,1	40,4	108,4

Put zaleta															
v (km/h)															
v (km/h)	0	28	35	42	47	55	68	82	90	95	114	125	130	156	171
t_z (s)	0,0	2,8	3,5	4,3	4,8	5,9	7,9	10,1	11,7	12,7	17,5	21,1	23,1	40,4	108,4
Δs (m)	0	11	6	8	6	15	35	47	37	26	138	120	69	686	3088
s_z (m)	0	11	17	26	32	47	82	128	165	191	329	449	519	1205	4293

VREME I PUT ZALETA – GRAFIČKI PRIKAZ

5 OSNOVE RADA SA PROGRAMOM MS EXCEL®

1. OSNOVNI ELEMENTI I POJMOVI



Selektovanje polja: klik

Selektovanje većeg broja susednih polja: "prevlačenje" mišem; tasterima-strelicama (\uparrow , \downarrow , \rightarrow , \leftarrow) ili Page Up, Page Down uz taster SHIFT

Selektovanje većeg broja nesusednih polja: "prevlačenje" mišem uz taster CTRL

Selektovanje cele vrste ili kolone: klik na oznaku (slovo / broj)

Aktiviranje radnog lista: klik

Kretanje po radnom listu: miš; tastatura: Page Up, Page Down, \uparrow , \downarrow , \rightarrow , \leftarrow , Home, End, + kombinacija sa CTRL

SHIFT + CTRL + (\uparrow , \downarrow , \rightarrow , \leftarrow): selektovanje celog niza ćelija koje nisu prazne

CTRL + Page Up / Down: kretanje između Sheet-ova

Blokiranje gornjeg segmenta pri skrolovaju: selektovati donju kolonu segmenta, Window → Freeze Panes

Blokiranje levog segmenta pri skrolovaju: selektovati krajnju desnu kolonu segmenta, Window → Freeze Panes

Window → Freeze Panes pri samo jednoj selektovanoj ćeliji: blokira gornji levi segment definisam vrstom i kolonom date ćelije

Podešavanje širine kolone i visine reda:

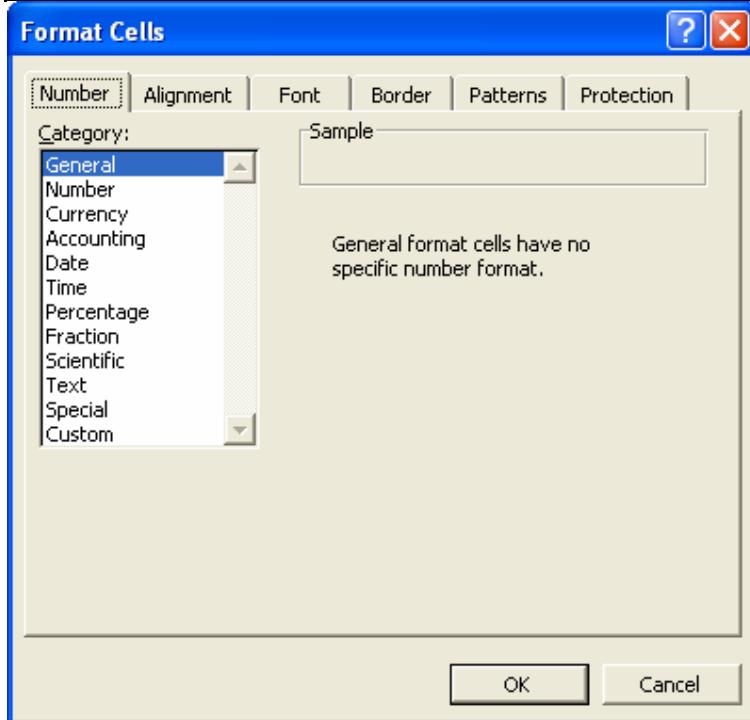
Format → Row ► Height..., Column ► Width...



Unos u polje: potvrđuje se sa TAB ili ENTER

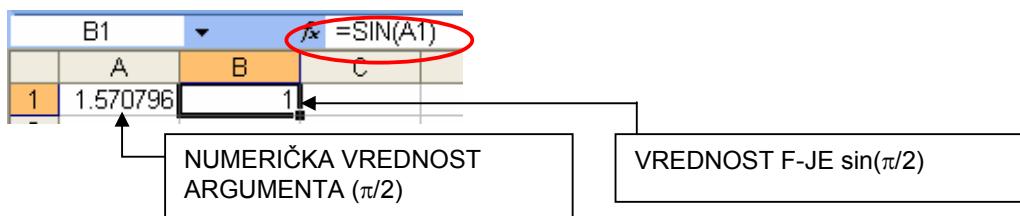
Automatski unos niza brojeva: Edit → Fill ► Series...

Vrste sadržaja polja i ostale opcije formatiranja ćelija: Format → Cells...



2. REFERENCE U EXCEL-U

Referenca identificuje polje (ili grupu polja) i "saopštava" programu gde da traži podatke koje koristimo za izračunavanje numeričke vrednosti formule. Na primer, ako se u nekom proizvoljnom polju upiše $=\sin(A1)$, u tom polju će biti izračunata vrednost sinusa tako da se za vrednost argumenta uzima vrednost iz polja A1.



UNOS REFERENCI

Reference se mogu unositi putem tastature, ili klikom miša na željeno polje u toku unosa izraza za formulu. U prethodnom primeru, ovo znači da se nakon ispisa " $=\sin($ " klikne na polje **A1**, a potom zatvori zagradu.

RELATIVNE REFERENCE

Relativne reference su bazirane na relativnoj poziciji polja koje sadrži formulu u odnosu na referentno polje (koje sadrži numeričku vrednost argumenta). Ako se formula iskopira u neko drugo polje, referenca se menja tako da relativni položaj između dva polja ostane isti. U primeru na ilustraciji, pretpostavimo da je u polju C5 upisana formula koja se poziva na polje B3. Ako sada

formulu iz polja C5 iskopiramo u polje G4, ona će se pozivati na polje F2¹⁴ – tj. relativni položaj između dva polja ostaje neizmenjen.

Primeri upotrebe: za argument funkcije, pri izračunavanju niza vrednosti funkcije (recimo zbog crtanja dijagrama)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Diagram illustrating relative referencing in Excel. Cell C5 contains the formula =B3-B2. When copied to G4, it becomes =F2-F1. A callout box states: "REFERENTNO POLJE SE NALAZI JEDNU KOLONU ULEVO I DVA REDA NAGORE U ODNOSU NA POLJE U KOM JE FORMULA".

APSOLUTNE REFERENCE

Apsolutna referenca se poziva uvek na isto polje, bez obzira sa kog mesta bila pozvana. Relativni položaj između ćelija nije zadržan. Apsolutna referenca se označava dodavanjem znaka \$ ispred imena kolone i vrste, npr. \$A\$1.

Primeri upotrebe: za konstantu u funkciji (kao npr. amplituda u sinusnoj funkciji i dr.)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Diagram illustrating absolute referencing in Excel. Cell C5 contains the formula =B3-B2. When copied to G4, it remains =B3-B2. A callout box states: "REFERENTNO POLJE SE NALAZI UVEK NA ISTOM MESTU".

MEŠOVITE REFERENCE

Kod mešovitih referenci fiksirana je samo kolona (npr. \$A1) ili samo vrsta (npr. A\$1).

¹⁴ Što znači da će numerička vrednost za argument funkcije biti uzeta iz polja F2

UNOS REFERENCI RAZNIH TIPOVA

Znak "\$" koji definiše da li će vrsta ili kolona (ili obe) u nekoj referenci biti fiksirane (vidi gornji tekst), može se pri unošenju formule ukucati tastaturom. Ukoliko se vrši unos pomoću miša, selektovanjem odgovarajućeg polja, tada je moguće tasterom **F4** uskcesivno menjati tip reference (apsolutni, relativni ili mešoviti).

3. CRTANJE I FORMATIRANJE DIJAGRAMA U DEKARTOVOM KOORDINATNOM SISTEMU

Za crtanje dijagrama u Excelu koristri se komanda **Insert → Chart...**, ili, kraće, odgovarajuća ikonica na tool-bar-u, . Ova komanda aktivira dijalog za izbor parametara dijagrama, pri čemu se izbor podataka koji će biti prikazani na njemu vrši ili u okviru samog dijaloga, ili unapred. U ovom drugom slučaju, dve serije podataka (za x i y osu) potrebno je selektovati mišem (po potrebi uz primenu tastera CTRL) pre nego što se aktivira komanda za crtanje.

Važna napomena: u prvom koraku dijaloga, za tip dijagrama obavezno odabrati **XY(Scatter)**.

CRTANJE I FORMATIRANJE DIJAGRAMA – KORAK PO KORAK

1. Selektovati podatke za x i y osu (opcija)
2. Odabrat komandu **Insert Chart** (vidi gornji tekst)
3. U prvom koraku dijaloga, odabrat tip dijagrama – **XY(Scatter)**
4. U drugom koraku, ukoliko to nije učinjeno unapred, odabrat podatke za x i y osu (detaljnije u nastavku)
5. U trećem koraku (neobavezno), po želji definisati ostale opcije dijagrama:
 - naziv dijagrama i nazivi osa (**Titles**),
 - ose dijagrama (**Axes**),
 - prikaz pomoćnih linija za x i y osu (**Gridlines**),
 - prikazivanje legende (**Legend**),
 - ispis podataka uz tačke dijagrama (**Data Labels**).
6. U poslednjem koraku moguće je izvršiti izbor vrste lokacije dijagrama (prikaz u okviru tekućeg radnog lista ili na posebnom radnom listu).

Napomena: koraci 4 – 6 su opcioni – neobavezni (*ovo ne važi za korak 4 ukoliko podaci za x i y osu nisu unapred selektovani*). Dijalog se već u koraku 3 prethodne liste (prvi korak samog dijaloga) može prekinuti klikom na dugme **Finish**, što za posledicu ima formiranje dijagrama kod kojeg izostaju parametri koji se definišu u koraku 5 i 6. Ovi parametri se mogu definisati i naknadno, o čemu će biti reči kasnije.

Izbor podataka za x i y osu u okviru dijaloga (korak 4)

1. U drugom koraku dijaloga, kliknuti na jezičak "Series"
2. Kliknuti na dugme **Add** ispod prozorčića "Series" na donjem levom području dijalogu
3. Sa desne strane se otvaraju tri prazna polja za izbor imena (**Name**) i podataka za x i y osu (**X Values:**, **Y Values:**)
4. Uneti ime u predviđeno polje (ukoliko se ne unese, dodela imena se vrši automatski, npr. *Series1*)
5. Uneti reference za polja sa podacima za x odnosno y osu:

- **1. način:** kliknuti na ikonicu  na desnoj strani polja za unos, potom mišem selektovati niz podataka
- **2. način:** uneti podatke preko tastature (detaljnije u nastavku)

Zadavanje izvora podataka za x i y osu putem tastature

Niz podataka se zadaje u sledećoj formi (primer):

=Sheet1!\$A\$1:\$M\$1, gde je:

X Values: =Sheet1!\$A\$1:\$M\$1 

- Sheet1 – ime radnog lista
 - ! – separator
 - \$A\$1 – prvo polje u nizu
 - \$M\$1 – poslednje polje u nizu
- } NIZ OD POLJA A1 DO POLJA M1 (KOLONA 1)

Naknadno unošenje novih serija podataka u postojeći dijagram

1. Preko dijaloga:
 - desni klik na dijagam; **Source Data...**; odabratи jezičak "Series"
 - kliknuti na dugme **Add** ispod prozorčića "Series" na donjem levom području dijaloga
 - nastaviti prema gore navedenim uputstvima
2. Copy / Paste ili Drag&Drop (samo podaci za y osu)

Brisanje serije podataka iz postojećeg dijagrama

1. Preko dijaloga:
 - desni klik na dijagam; **Source Data...**; odabratи jezičak "Series"
 - u prozorčiću selektovati seriju koju treba obrisati; kliknuti na dugme **Remove** ispod prozorčića "Series"
 - nastaviti prema gore navedenim uputstvima
2. Selektovati seriju podataka u okviru samog dijagrama i pritisnuti taster **Delete**

Formatiranje dijagrama i naknadno podešavanje opcija

Naknadno podešavanje opcija koje nisu zadate prilikom inicijalnog uspostavljanja dijagrama, ili njihove naknadne izmene, mogu se ostvariti izborom komande **Chart Options...** pop-up iz menija koji se dobija desnim klikom na dijagram.

Formatiranje – podešavanje izgleda pojedinih elemenata dijagrama vrši se dijalozima koji se aktiviraju preko pop-up menija dobijenog desnim klikom na odgovarajući element:

- **Format Data Series:** podešavanje izgleda linije kojom je data serija podataka prikazana u dijagramu
- **Format Axis:** podešavanje parametara ose, uključujući izgled prikaza, rang vrednosti i podelu; opcionalno: aktiviranje sekundarne y-ose (jezičak "Axis": **Secondary axis**)
- **Format Plot Area:** podešavanje pozadine dijagrama
- **Format Grid Lines:** podešavanje prikaza pomoćnih linija